Aus dem Institut für Tierproduktion
der Technischen Universität Berlin

Sauerstoffverbrauch, Rektaltemperatur, Milchleistung und Futterwahlverhalten erstlaktierender Kühe der Rasse Deutsche Schwarzbunte unter Wärmebelastung

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Bernhard Sörensen
Tierarzt aus New York

Berlin 1985
Journal-Nr. 1249

Aus dem Institut für Tierproduktion
der Technischen Universität Berlin

Sauerstoffverbrauch, Rektaltemperatur, Milchleistung und Futterwahlverhalten erstlaktierender Kühe der Rasse Deutsche Schwarzbunte unter Wärmebelastung

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Bernhard Sörensen
Tierarzt aus New York

Berlin 1985
Journal-Nr. 1249

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Fachbereichssprecher: Prof. Dr. F. Hörchner

Erster Gutachter: Prof. Dr. G. Wittke

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. J.H. Weniger

Tag der Promotion: 25. Juli 1985

Die Untersuchungen wurden mit dankenswerter Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549619_0026

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG UND LITERATURÜBERBLICK	1
1.1	Thermoregulatorische Zusammenhänge	1
1.2	Methoden zur Erfassung der endogenen Wärmebildung	4
1.3	Zusammenstellung der wichtigsten Befunde in der Literatur	10
2.	FRAGESTELLUNGEN	25
3.	MATERIAL UND METHODEN	26
3.1	Technische Einrichtungen	26
3.1.1	Klimakammer	26
3.1.2	Sauerstoffmeßanlage	27
3.2	Tiermaterial	29
3.3	Versuchsbedingungen	30
3.4	Erfassung der einzelnen Merkmale	34
3.5	Statistische Auswertung	40
4.	ERGEBNISSE	42
4.0	Vorbemerkungen	42
4.1	Ergebnisse zur Methodik der Sauerstoffmessung ..	42
4.1.1	Allgemeine Bemerkungen zur Sauerstoffmessung ...	42
4.1.2	Vergleich der Herzfrequenz vor und nach der O_2-Messung	44
4.1.3	Einfluß der Methode auf die Atemfrequenz	46
4.1.4	Der Sauerstoffverbrauch am stehenden und liegenden Tier	49
4.1.5	Der Sauerstoffverbrauch zu verschiedenen Meßzeiten	50
4.1.6	Diskussion und Empfehlungen zum methodischen Vorgehen bei Respirationsversuchen an Rindern ..	55

Seite

4.2 Einfluß der Wärmebelastung auf die erhobenen Merkmale 62
4.2.1 Rektaltemperatur 62
4.2.2 Sauerstoffverbrauch 64
4.2.3 Milchleistung 68
4.2.4 Herzfrequenz 72
4.2.5 Futteraufnahme 76
4.2.6 Wasserverbrauch 88
4.2.7 Atemfrequenz 89
4.2.8 Schwitzrate 93
4.2.9 Korrelationen zwischen der O_2-Aufnahme und einigen ausgewählten Merkmalen 94

5. DISKUSSION 96

6. ZUSAMMENFASSUNG 106

7. SUMMARY 108

8. LITERATURVERZEICHNIS 110

1. EINLEITUNG UND LITERATURÜBERBLICK

1.1 Thermoregulatorische Zusammenhänge

Langfristige oder wiederholte klimatische Belastungen führen im Tier zu physiologischen Anpassungsvorgängen, die unter dem Begriff der Akklimatisation (HAFEZ, 1968) zusammengefaßt werden.

Zur Aufrechterhaltung der Homoiothermie ist eine ausgeglichene Wärmebilanz erforderlich, d.h. Wärmebildung und Wärmeabgabe müssen im zeitlichen Mittel gleich sein. Die Wärmeabgabe erfolgt auf physikalischem Wege, die Wärmebildung geschieht im Organismus durch exotherme chemische Reaktionen. Demnach laufen im Tier physikalische und chemische Temperaturregulationsmechanismen nebeneinander ab.

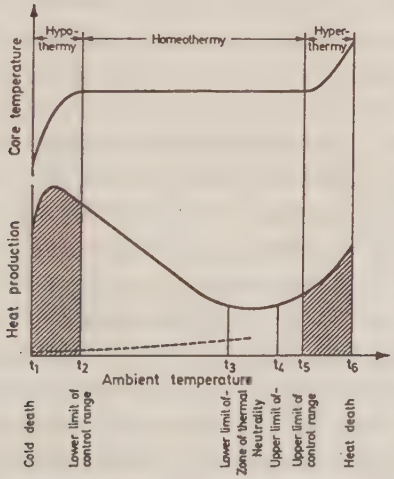

Abb. 1: Die Beziehung zwischen Körpertemperatur und der endogenen Wärmebildung in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur beim homoithermen Organismus; gestrichelte Linie - Wärmebildung beim poikilothermen Organismus. (PRECHTet al., 1973)

Nach allgemeiner Aufassung besteht eine Beziehung zwischen der Körpertemperatur und der endogenen Wärmebildung in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur beim homoithermen Organismus, wie in Abb.1 schematisch wiedergegeben.

Die Normothermie wird mittels der oben erwähnten Regelmechanismen in einem weiten Temperaturbereich gewährleistet. Über- oder unterschreiten die Umgebungstemperaturen die obere oder untere kritische Grenze des Regelbereiches, so tritt nach progredienter Hypo- bzw. Hyperthermie der Tod ein.

Innerhalb der Normothermie befindet sich ein Temperaturbereich, der als Thermisch Neutrale Zone, Neutraltemperaturbereich oder als Zone der Thermischen Indifferenz bezeichnet wird (SCHOLANDER, 1950). In den Übersichtsarbeiten von HENSEL (1955), BIANCA (1968), MOUNT (1968), LYHS (1971), IVANOV (1972) sowie NICHELMANN & LYHS (1973) wird als Thermisch Neutrale Zone derjenige Bereich der Umgebungstemperatur bezeichnet, in der der Energieumsatz und somit die metabolische Wärmebildung am geringsten ist und annähernd konstant bleibt. Wird die untere kritische Temperatur der Thermisch Neutralen Zone unterschritten, setzten chemische Regelmechanismen zur Erhöhung der endogenen Wärmebildung ein. Höhere Umgebungstemperaturen bewirken ein verstärktes Einsetzen physikalischer Regelmechanismen zur Erhöhung der Wärmeabgabe, beim Rind vor allem durch kutane und respiratorische Evaporation. Die damit einhergehende Wärmepolypnoe ist energetisch aufwendig und bewirkt ihrerseits einen vermehrten Anfall an überschüssiger Wärme, wodurch der Wirkungsgrad des Kühlmechanismus eingeschränkt wird. Der Van't Hoff-Arrhenius-Regel folgend, nach der sämtliche physikalisch-chemische Prozesse bei höherer Temperatur beschleunigt ablaufen, steigt die endogene Wärmebildung weiterhin an, bis das Tier im Hitzetod sein Ende findet.

Einige Autoren vermeiden den Begriff der Thermisch Neutralen Zone und beziehen sich nur auf eine "Kritische Tempe-

ratur" in der Annahme, daß die Beziehung zwischen der Umgebungstemperatur und der Höhe des Energieumsatzes durch eine Parabel beschrieben wird, wobei die "Kritische Temperatur" im Scheitel liegt und als Thermisch Neutrale Temperatur bezeichnet wird (NICHELMANN & THOMAS, 1974).

Neben den erwähnten chemischen und physikalischen Regelmechanismen, die zusammengefaßt als autonome Regelung bezeichnet werden, kann das Tier auch durch zweckmäßiges Verhalten Wärmebildung und Wärmeabgabe beeinflussen (Verhaltensregelung). Beispielsweise führen hohe Umgebungstemperaturen zu Bewegungseinschränkungen und somit zur Senkung der metabolischen Wärmebildung. Um Vergleiche zwischen autonomen Regelvorgängen bei gemäßigten und hohen Umgebuntstemperaturen anstellen zu können, müssen deshalb standardisierte Bedingungen geschaffen werden. Dazu eignen sich Klimakammern, in denen bestimmte Umgebungstemperaturen und Luftfeuchten einstellbar sind, und die dem Tier nur eingeschränkte Möglichkeiten lassen, etwa durch sein Bewegungsverhalten, Einfluß auf die Wärmebildung und Wärmeabgabe auszuüben.

Unter Temperaturbelastung wurde bei Rindern ein von Abb.1 abweichendes Verhalten des Thermoregulationsgeschehens nachgewiesen (z.B. YECK & STEWART, 1959; YOUSEF et al., 1967; YOUSEF & JOHNSON, 1967; HALES, 1968; SEIF et al., 1972; TER MEULEN et al., 1975). In den Untersuchungen reduzierten Rinder bei hoher Umgebungstemperatur ihre metabolische Wärmebildung. Demnach reagiert das Rind auf eine Wärmebelastung nicht nur mit einem verstärkten Einsetzen von physikalischen Regelmechanismen zur Erhöhung der Wärmeabgabe, sondern auch durch chemische Regelmechanismen mit Senkung der endogenen Wärmebildung. Die am hiesigen Institut an laktierenden Rindern durchgeführten kurz- und langfristigen Wärmebelastungen ergaben reduzierte Energieaufnahmen, Rückgänge der Milchleistung und verminderte Herzfrequenzen (MIESKE, 1977; HIPPEN, 1979; BAYER, 1979; MOREAU, 1980; BÜNGER, 1981). Diese Befun-

de lassen ebenfalls auf eine chemische Thermoregulation bei hohen Umgebungstemperaturen schließen.

1.2 Methoden zur Bestimmung der endogenen Wärmebildung

Die bei den energetischen Umsetzungsprozessen im Organismus anfallende Wärmemenge läßt sich experimentell durch zwei Methoden bestimmen, die als direkte und indirekte Kalorimetrie bezeichnet werden. Bei der direkten Kalorimetrie wird die vom Tier an die Umgebung abgegebene Wärme bestimmt. Dazu sind verschiedene Tierkalorimeter entwickelt worden, die für Großtiere jedoch zu aufwendig und daher ungeeignet sind.

Die indirekte Kalorimetrie beruht auf der Berechnung der Wärmebildung aus der Analyse der Atemgase. Der über die Atmung aufgenommene Sauerstoff dient dem Organismus als Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor) bei der Wasserbildung am Ende der Atmungskette. Die bei der biologischen Oxidation anfallende Wärme steht in einem bestimmten Verhältnis zur verbrauchten Sauerstoffmenge, welches als das kalorische Äquivalent des Sauerstoffs - bezogen auf das oxidierte Substrat - bezeichnet wird. Auf dem dritten Symposium der "European Association for Animal Production" in Troon, Schottland, im Mai 1964 wurde die Brower-Formel zur Schätzung der metabolischen Wärmebildung empfohlen. In diese Gleichung gehen der Sauerstoffverbrauch, die Kohlendioxidproduktion, die Methanbildung und der im Harn ausgeschiedene Stickstoff ein. Ausgehend von dieser Gleichung leitete McLEAN (1972) eine mehr praxisbezogene Formel zur Schätzung der endogenen Wärmebildung beim Wiederkäuer ab, in die nur der Sauerstoffverbrauch eingeht. Die verbrauchte Menge an Sauerstoff in Litern multipliziert mit 4,89 ergibt die Wärmebildung in Kilokalorien. Die mathematische und experimentelle Überprüfung dieser Schätzformel wies einen Fehler von $\pm$ 2% auf. Nach WITTKE (1972) ist es für viele Zwecke ausrei-

chend, den Sauerstoffverbrauch zu erfassen und ein kalorisches Äquivalent von 4,85 einzusetzen. Die Irrtumsmöglichkeit wird mit einem Fehler von ± 3% angegeben und dürfte innerhalb der Grenzen des methodischen Fehlers der meisten Umsatzmessungen liegen. Tatsächlich wird in den experimentellen Arbeiten von einem ermittelten oder angenommenen kalorischen Äquivalent zwischen 4,80 und 4,89 ausgegangen (Tab.1).

Tabelle 1: In Arbeiten an Wiederkäuern verwendete kalorische Sauerstoffäquivalente

kalorisches Äquivalent von 1 Liter O_2		Tierart	Autor
kcal	kJ		
4,89	20,46	Kühe	HOLMES et al., 1978b
4,81	20,13	Kühe	KIBLER & BRODY, 1951
4,81	20,13	Kühe	KIBLER, 1960b
4,81	20,13	Kühe	YOUSEF et al., 1967
4,89	20,46	Jungbullen	FINCH et al., 1982
4,71	19,71	Jungbullen	RUMSEY et al., 1980
4,82-4,89	20,17-20,46	Jungbullen	VERCOE, 1973
4,89	20,46	Schafe	DAVEY & HOLMES, 1977
4,80	20,08	Schafe	DEGEN & SHKOLNIK, 1978
4,80	20,08	Schafe	DEGEN & YOUNG, 1982
4,68	19,58	Schafe	WEBSTER, 1967
4,82	20,17	Ziegen	BORUT et al., 1979
4,90	20,50	Antilopen	TAYLOR, 1969

Demnach stellt der Sauerstoffverbrauch ein geeignetes Maß zur Schätzung der metabolischen Wärmebildung dar.

Neben der Angabe der Wärmebildung in Kilokalorien werden in neueren Arbeiten Angaben in Kilojoule entsprechend der Konvention über das Internationale Einheitensystem gemacht (1 kJ = 0,239 kcal). In älteren Arbeiten aus dem englischen Sprachraum wird vereinzelt die Maßeinheit British Thermal Units (1 BTU = 252 cal = 1,054 kJ) benutzt.

Zur Bestimmung des Gaswechsels finden Respirationsapparate Anwendung, die sich nach ihrer Arbeitsweise in geschlossene und offene Systeme einteilen lassen. Beim geschlossenen System befindet sich das Versuchstier in einer luftdichten Respirationskammer. Die Kammerluft wird im Kreislauf durch CO_2- und H_2O-Absorptionsgefäße gepumpt und die verbrauchte Menge an Sauerstoff durch kontinuierliche Ergänzung aus einem Vorratsgefäß bestimmt.

Bei den gebräuchlicheren offenen Systemen befindet sich das Versuchstier ebenfalls in einer Respirationskammer, durch die ständig Frischluft gesaugt wird. Aus der Sauerstoffabnahme bzw. der Kohlendioxidanreicherung in der abgesaugten Luft gegenüber der zugeführten Frischluft wird der Gaswechsel des Tieres errechnet. Da die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft praktisch konstant bleibt (20,95 Vol% O_2, 0,03 Vol% CO_2), kann auf die Analyse der angesaugten Frischluft verzichtet werden.

Wird die Respirationskammer des offenen Systems durch eine Atemmaske oder Trachealkanüle ersetzt, erhält man ein halboffenes System, in dem das Tier durch Lufteinlaßventile atmet. Die ausgeatmete Luft wird vollständig abgesaugt und wie beim offenen System analysiert. Der Vorteil der offenen Systeme liegt darin, daß keine luftdichte Kammer notwendig ist. Geringe Undichtigkeiten der Respirationskammer oder der gasführenden Leitungen beim halboffenen System beeinflussen nicht das Ergebnis, solange in dem System durch ständigen Luftdurchsatz ein Unterdruck erzeugt wird.

Der Nachteil der halboffenen Systeme liegt in der Anwendung von Atemmasken oder Trachealkanülen, wodurch die Meß-

zeit begrenzt wird. Weiterhin beeinflußt der Anschluß an solche Apparaturen das Tier, indem sich die Atmungsmechanik verändert oder eine erhöhte Unruhe bei den Tieren auftritt. Dies kann zu Verfälschungen der Meßergebnisse führen. Ebenso nimmt die häufig angewendete Sedierung oder Narkotisierung von Versuchstieren vor Respirationsversuchen Einfluß auf die zu bestimmende Größe.

Ein weiteres Problem der Kalorimetrie bei Tieren stellt die Standardisierung der Versuchsbedingungen dar. Im Zusammenhang mit Energieumsatzmessungen wird oft von der "Standard Metabolic Rate (SMR)" ausgegangen. Die SMR beschreibt den Ruheumsatz eines nicht-graviden Tieres im postresorptiven Zustand. Solche Bedingungen können in der Praxis, vor allem bei Messungen über einen längeren Zeitraum, nicht erfüllt werden. GEBREMEDHIN et al. (1981) prägten den Begriff der "Normal Metabolic Activity" und beschreiben damit den Energieumsatz eines Tieres in Körperruhe. Die "Normal Metabolic Activity" ermöglicht vergleichbare Messungen, wenn standardisierte Versuchsbedingungen eingehalten werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Sauerstoffaufnahme tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, verursacht durch Lichtrhythmus, Umgebungstemperatur, Leistungs- und Ernährungszustand sowie die Haltung der Tiere (ASCHOFF, 1981).

Besonders die Fütterung beeinflußt den Energieumsatz und somit die Wärmebildung. Zwischen gefütterten und hungernden Tieren bestehen deutliche Unterschiede im Sauerstoffverbrauch. Vor allem die Zeitspanne zwischen letzter Fütterung bis zur Messung ist von entscheidender Bedeutung für die Erhöhung des Energieumsatzes. So wird unmittelbar nach der Futteraufnahme eine beachtliche Steigerung der metabolischen Wärmebildung beobachtet. Für diese Erscheinung werden in der Literatur verschiedene Synonyme verwendet (Spezifisch dynamische Wirkung, Spezifisch dynamischer Effekt, Kalorigene Wirkung der Futteraufnahme, specific dynamic action, heat

increment of feeding). Die Steigerung der Wärmebildung kann beim Rind mehrere Stunden nach der Futteraufnahme anhalten und Werte um 60% annehmen (siehe z.B. KOLB, 1980; Tab.2).

Tabelle 2: Effekt der Futteraufnahme auf die Wärmebildung

Zeit nach Futteraufn. (Stunden)	Wärmebildung Anstieg %	Tierart	Autor
1	51	Rinder/Pferde	HALL & BRODY, 1934
2	20		
0,5	34		
4	8	Kälber	HOLMES, 1971
0,5	48	Jungbullen	YAMAMOTO et al., 1979
1	85		
5	60	Ochsen	KOLB, 1980
10	23		
0,2	82		
0,3	76		
0,5	47	Schafe	WEBSTER, 1967
1	21		

Die Ursachen für die kalorigene Wirkung der Futteraufnahme sind im einzelnen ungeklärt. In der Literatur werden verschiedene Gründe angegeben. Eine durch die Verdauungsarbeit bedingte Stoffwechselsteigerung des Gastrointestinaltraktes kann nicht die alleinige Ursache für die beachtliche Steigerung des Energieumsatzes sein. Die Beobachtung, daß die Umsatzrate nach einer eiweißreichen Mahlzeit besonders hervortritt, ist verursacht durch die geringe ATP-Ausbeute beim Aminosäureabbau, verbunden mit erhöhten Wärmeverlusten (KARLSON, 1980). Vermutlich ist die Addition mehrerer Fakto-

ren für diesen Effekt verantwortlich. Die physiologische Bedeutung der kalorigenen Wirkung wird in einer Kurzzeitregulierung der freiwilligen Futteraufnahme gesehen (BALCH, 1969), da die Temperatur unter anderem als Stellglied für das im Hypothalamus gelegene Sättigungszentrum dienen könnte.

Die kalorigene Wirkung des Futters ist weiterhin vom Ernährungszustand der Tiere abhängig. Unterernährte Tiere weisen eine geringere kalorigene Wirkung auf als Tiere in gutem Ernährungszustand. Wahrscheinlich wird durch die Steigerung der thermischen Energieverluste einer erhöhten Energieretention in Form von Fettansatz vorgebeugt (KOLB, 1974). Diese Hypothese wird unterstützt durch Befunde experimenteller Arbeiten, in denen Tiere bei Futtergaben unter dem errechneten Erhaltungsbedarf geringere thermische Energieverluste aufwiesen als nach übermäßiger Fütterung (WEBSTER et al., 1975).

Wird vom Tier Leistung erbracht, erfolgt zwangsläufig eine Erhöhung des Energieumsatzes und der endogenen Wärmebildung. Bei schwerer Muskelarbeit kann der Sauerstoffverbrauch auf das 10- bis 15-fache der Ruhewerte ansteigen. Leistungen in Form von Milchproduktion oder Trächtigkeit bewirken ebenfalls eine erhöhte Stoffwechselaktivität.

Die in diesem Kapitel aufgeführten Kriterien sind bei der Versuchsanstellung zur Messung der metabolischen Wärmebildung von Tieren zu berücksichtigen. Zeitliche Verläufe der Wärmebildung und Vergleiche zwischen den Tieren lassen sich nur herstellen, wenn standardisierte Versuchsbedingungen geschaffen und eingehalten werden.

1.3 Zusammenstellung der wichtigsten Befunde in der Literatur

Umfangreiche Zusammenstellungen der Literaturergebnisse über die Reaktionen landwirtschaftlicher Nutztiere auf hohe Umgebungstemperaturen finden sich in Arbeiten von BRODY (1948), YECK (1959), SOMMER (1962), WHITTOW (1971), HERZ & STEINHAUF (1978), PASCHKE (1982) und GROßMANN (1983). Die folgende Zusammenstellung beschränkt sich auf Arbeiten, die sich mit der Methodik der Messung des Gaswechsels bei Wiederkäuern beschäftigen, sowie Arbeiten, in denen Fragen der chemischen Thermoregulation untersucht und diskutiert werden.

Die in der Literatur beschriebenen Gaswechselmessungen lassen sich folgenden Themenkreisen zuordnen:

- Ernährungsphysiologische Untersuchungen des Energieumsatzes
- Auswirkungen von Arzneimitteln und körpereigenen Wirkstoffen auf die Wärmebildung
- Energieaufwand für tierische Leistung
- Einfluß der Umgebungstemperatur auf die Wärmebildung.

Als Versuchstiere werden überwiegend kleine Wiederkäuer oder Jungrinder benutzt.

Resultierend aus der methodischen Problematik, standardisierte Meßbedingungen zu schaffen, sind die Angaben zum Sauerstoffverbrauch von Wiederkäuern in Körperruhe bei thermoneutralen Umgebungstemperaturen sehr unterschiedlich. In der Tabelle 3 sind die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zusammengestellt. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wird die Sauerstoffaufnahme in ml pro kg Körpergewicht (KG) in der Minute angegeben. Arbeiten mit unvollständigen Angaben zu den Tieren, zum Körpergewicht und zur O_2-Aufnahme konnten in der tabellarischen Zusammenstellung nicht berück-

sichtigt werden. Viele Arbeiten enthalten keine Einzelwerte, sondern Durchschnittswerte von Tiergruppen und Messungen. Die angegebenen Werte wurden aus Grafiken und Tabellen entnommen oder wurden aus Absolutangaben zum Zwecke des Vergleiches auf Kilogramm Körpergewicht pro Minute umgerechnet. Von den einzelnen Autoren werden innerhalb einer Tiergruppe sehr unterschiedliche Ergebnisse zum Sauerstoffverbrauch angegeben. Sicherlich sind die individuellen Schwankungen der O_2-Aufnahme der Tiere mitverantwortlich, doch das unterschiedliche methodische Vorgehen in Bezug auf Meßeinrichtung und Meßzeit dürfte der Hauptgrund für die Differenzen sein.

Bei den Rindern sind die differierenden Angaben am ausgeprägtesten. Der von SEIF et al. (1972) für Färsen angegebene Wert erscheint unphysiologisch niedrig und läßt auf einen methodischen Fehler schließen. In vergleichenden Untersuchungen verschiedener Rinderrassen, wie sie von KIBLER (1957) vorgenommen wurden, weisen tropische Rassen einen deutlich geringeren basalen Sauerstoffverbrauch auf als Rassen gemäßigter Zonen. Zu den tendenziell gleichen Ergebnissen kamen BORUT et al. (1979) und DEGEN & SHKOLNIK (1978) bei dem Vergleich von Ziegen- und Schafrassen in heißen Klimaten zu europäischen Rassen.

Bedingt durch die erhöhte Stoffwechselaktivität während der Wachstumsphase werden für Jungrinder und Kälber die höchsten O_2-Verbrauchswerte angegeben. Ausnahmen stellen die von RUMSEY et al. (1980) und VERCOE (1973) für Jungrinder und von TER MEULEN et al. (1974) für Kälber ermittelten Werte dar. Bei den erstgenannten Autoren wurden die Messungen an hungernden Tieren durchgeführt, und diese Versuchsbedingung dürfte für die geringe Umsatzrate verantwortlich sein. Auch McLEAN & CALVERT (1972) führten einen 16-stündigen Futterentzug der Tiere vor den Messungen durch. Der für Ochsen angegebene Wert ist daher vergleichsweise gering. TER MEULEN et al. (1974) narkotisierten und intubierten ihre

Versuchstiere vor den Messungen und erhielten dadurch die geringsten Werte der Sauerstoffaufnahme für Kälber.

Die Angaben zur Sauerstoffaufnahme von Schafen und Ziegen weisen zwischen den Autoren geringere Schwankungsbreiten gegenüber den Werten bei Rindern auf. Als mögliche Ursache ist die bei kleinen Wiederkäuern überwiegend angewendete Bestimmung des Gaswechsels in Respirationskammern zu erwähnen, wodurch das Tier weniger beeinflußt wird, und der gemessene Wert dem wahrscheinlichen Wert am nächsten kommt. Von den aufgeführten adulten Tieren haben die Ziegen übereinstimmend den höchsten Sauerstoffverbrauch. Die Ursache könnte neben dem relativ höheren Metabolismus pro Einheit des Körpergewichtes dieser kleinen Wiederkäuer auch im Zusammenhang mit der physiologischen Körpertemperatur von Ziegen stehen, die etwa 1°-2°C über der Körpertemperatur von Schafen und Rindern liegt.

Im folgenden soll ein Überblick zum methodischen Vorgehen der einzelnen Autoren dargestellt werden. Erste entsprechende Untersuchungen wurden in der Zeit von 1949 bis 1966 an der University of Missouri von KIBLER und BRODY durchgeführt. Ziel der Untersuchungsreihe war es, die thermoregulatorischen Mechanismen von Rindern unter Kälte- und Wärmebelastung zu untersuchen. Dabei wurde auch der Gaswechsel gemessen. Der entwickelte Respirationsapparat, als "open-circuit respiratory exchange apparatus" bezeichnet, ist in der Veröffentlichung von KIBLER et al. (1949) ausführlich beschrieben. Es handelt sich um ein halboffenes System mit Atemmmaske. Das für die damalige Zeit moderne Gerät ermöglichte die Bestimmung des Atemvolumens, der Sauerstoffaufnahme, der Kohlendioxid- und Methanabgabe, sowie der evaporativen Wasserabgabe über die Atmung. Während der etwa 5- bis 10-minütigen Messung wurde aus dem Atemgas eine Probe von 250 ml entnommen und später im Labor nach den prozentualen Volumenanteilen an O_2, CO_2 und CH_4 chemisch analysiert. Aus diesen Werten wurde in Verbindung mit dem Luftdurchsatz

Tabelle 3: Sauerstoffaufnahme einiger Tierarten bei thermoneutraler Umgebungstemperatur

ml O_2 pro (kgKG · min)	Tierart	Autor
4,60	Kühe	YOUSEF et al., 1967
4,24	HF Kühe letzter Trächtigkeitsmonat	FUKUHARA et al., 1983
5,79	erster Laktationsmonat	FUKUHARA et al., 1983
5,47	Rinder	SPÖRRI, 1976
3,92	Brahman Rinder	
3,68	Santa Getrudis	KIBLER, 1957
5,48	Shorthorn Rinder	
0,18	Färsen	SEIF et al., 1972
5,28	Färsen	KIBLER, 1960
4,39	Jungbullen	BELL et al., 1975
5,19-5,52	Jungbullen	FINCH et al., 1982
4,29-7,69	Jungbullen	HOLMES et al., 1978a
2,22-3,54	Jungbullen	RUMSEY et al., 1980
2,46-3,34	Jungbullen	VERCOE, 1973
3,40	Ochsen	McLEAN, 1972
4,47	Kälber	HALES, 1968
7,20-7,40	Kälber	HOLMES, 1971
7,60-8,60	Kälber	KIBLER, 1960a
3,50	Kälber	Ter MEULEN et al., 1975
7,00	Kälber	KOLB, 1974
5,72	Schafe	SPÖRRI, 1976
4,90	Schafe	DARLING et al., 1973
4,43	Schafe	DEGEN & YOUNG, 1982
5,67	Schafe	KENNEDY et al., 1977
5,10-5,69	Schafe	THOMPSON et al., 1975/1978
4,33	Merino-Lämmer	
4,00	Awassi-Lämmer	DEGEN & SHKOLNIK, 1978
6,92	Ziegen	BORUT et al., 1979
6,20	Ziegen	CLARKE et al., 1976
7,93	Ziegen	THOMPSON & THOMPSON, 1972

und im Vergleich zu den Gasanteilen der eingeatmeten Luft der Gaswechsel errechnet. Der Nachteil dieser Methode ist darin zu sehen, daß nur ein geringer Anteil des Atemgases analysiert wurde und sich folglich Meßfehler sehr stark auswirkten. Die Werte wurden nur an ruhig stehenden Tieren erhoben. Die angegebenen Meßzeiten von 5 bis 10 Minuten finden sich auch in anderen Respirationsversuchen (DAVEY & HOLMES, 1972; HOPPE et al., 1975; WEBSTER, 1967; McLEAN, 1963; McLEAN & CALVERT, 1972). McLEAN (1963) wendete in seinen Untersuchungen eine ähnliche Apparatur an, in der ebenfalls eine kleine Gasprobe zur Analyse entnommen wurde. Seine Ergebnisse der Sauerstoffaufnahme liegen um etwa ein Drittel unter denen vergleichbarer Tiere in der Untersuchungsreihe von KIBLER und BRODY.

Mit der Entwicklung physikalischer Gasanalysengeräte wurden verbesserte Respirationsanlagen hergestellt, die eine kontinuierliche Bestimmung der Zusammensetzung von Gasgemischen ermöglichen. Aus der abgesaugten Atemluft wird ständig eine Probe entnommen und analysiert. Dadurch können Verläufe des Gaswechsels während der Messung verfolgt werden.

Die in den letzten zwanzig Jahren eingesetzten Respirationsanlagen arbeiten nach diesem Prinzip. Neben der Verwendung von Atemmasken wurden vor allem für Schafe und Kälber ventilierte Kopfkäfige (BELL et al., 1975; DEGEN & YOUNG, 1982; THOMPSON & GLOUCH, 1972; YAMAMOTO et al., 1979; FUKUHARA et al., 1983; YOUSEF et al., 1968) und kleine Respirationskammern entwickelt und eingesetzt (CLARKE, 1976; COLEBROOK, 1978; DAVEY, 1977; DEGEN, 1978; GEBREMEDHIN, 1981; GEORGIEV, 1972; HOLMES, 1971; KENNEDY, 1977). Diese haben den Vorteil gegenüber der Benutzung von Atemmasken, daß die Atmung der Tiere weniger beeinflußt wird. So schreibt KIBLER (1950) von einer verminderten Atemfrequenz der Versuchstiere nach Anlegen der Maske. Ab Umgebungstemperaturen von über 40°C konnte die Messung nicht mehr durchgeführt werden. In anderen Arbeiten wird eine Änderung des

Atemtyps angedeutet (DARLING, 1973; TAYLOR, 1969), oder es fehlen diesbezügliche Angaben.

Entsprechend der Fragestellung werden von jedem Autor eigene standardisierte Versuchsbedingungen festgelegt. Übereinstimmend werden Respirationsversuche überwiegend an ruhig stehenden Tieren vorgenommen. Für vergleichende Untersuchungen ist dies erforderlich, da die durch das Stehen bedingte Zunahme des Energieumsatzes im Vergleich zum Liegen nach Angaben von ERBERSDOBLER et al. (1976) bei Schafen und Rindern 10-20% betragen kann. Diese Angabe findet Bestätigung durch experimentelle Untersuchungen von VERCOE (1973), der einen Unterschied in der O_2-Aufnahme zwischen stehenden und liegenden Rindern von durchschnittlich 18,7% ermittelte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen YAMAMOTO et al. (1979), die allerdings einen Anstieg von bis zu 24% feststellten. WEBSTER (1967) ermittelte an Schafen eine Zunahme des Sauerstoffverbrauchs stehender Tiere um 9,2-16,9%. OSUJI (1973) stellte bei Schafen einen Energieaufwand für das Stehen von 0,25 kJ pro Stunde fest, bezogen auf ein Kilogramm Körpergewicht. Dagegen zeigten stehende Schafe in Untersuchungen von DAVEY & HOLMES (1977) eine Erhöhung der Wärmebildung von 1,34 kJ/(h x kgKG). Wiederkauen bewirkte eine Zunahme um 1,09 kJ, und für das Fressen wurde ein Energieaufwand von 3,89 kJ gemessen.

Ob sich die Versuchstiere zur Zeit der Messung wirklich ruhig verhielten, geht aus vielen Arbeiten nicht hervor. Unterschiedliche Meßfrequenzen einzelner Tiere, fehlende Angaben zur Meßzeit und die alleinige Darstellung von Durchschnittswerten der O_2-Aufnahme lassen den Verdacht aufkommen, daß in manchen Arbeiten Schwierigkeiten in der Versuchsdurchführung auftraten. Nur wenige Experimentatoren führten vor Versuchsbeginn eine Gewöhnungsphase durch (z.B. COLEBROOK & BLACK, 1981; WEBSTER, 1967), in der die Tiere mit der Apparatur und der neuen Umgebung vertraut gemacht wurden.

Obwohl bekannt ist, daß die Milchproduktion eine Umsatzsteigerung bewirkt, sind nur wenige Angaben zum O_2-Verbrauch laktierender Kühe vorhanden. In dem Versuch von KIBLER et al. (1949) zur Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Umgebungstemperaturen auf die Wärmebildung von Rindern, befand sich eine nichttragende und nichtlaktierende Holstein Friesian Kuh, die bei gemäßigten Temperaturen einen etwas geringeren O_2-Verbrauch aufwies als die vergleichbaren laktierenden Kühe. Bei Umgebungstemperaturen um 40°C zeigte diese Kuh allerdings eine um 20% höhere O_2-Aufnahme. Ein Vergleich der metabolischen Wärmebildung von 11 Kühen im letzten Trächtigkeits- zum ersten Laktationsmonat zeigte eine durchschnittliche Erhöhung der O_2-Aufnahme während der Laktation um etwa 28% gegenüber den Durchschnittswerten der trächtigen Tiere (FUKUHARA & YAMAMOTO, 1983).

Im Vergleich zu nichttragenden und nichtlaktierenden Kontrolltieren zeigten Schafe im ersten Laktationsmonat eine Erhöhung der O_2-Aufnahme um 62%, die in dem zweiten Laktationsmonat auf 50% zurückging (DEGEN & YOUNG, 1982). In der gleichen Untersuchung wiesen Tiere im letzten Trächtigkeitsmonat einen um 30% höheren O_2-Verbrauch gegenüber den Kontrolltieren auf. MOLCHANOV (1974) ermittelte für tragende Färsen einen Anstieg der endogenen Wärmebildung gegen Ende der Trächtigkeit um 5% im Vergleich zu nichttragenden Kontrolltieren.

Zur Darstellung der Energieaufwendung durch vermehrte Muskelarbeit wurden Messungen des Gaswechsels an laufenden Tieren durchgeführt. Dazu ist es erforderlich, die Tiere zusätzlich zur Respirationsapparatur an ein Laufband zu gewöhnen. Eine exakte Standardisierung der erbrachten Leistung ist nahezu unmöglich. Anhand einiger ausgewählter Beispiele soll aufgezeigt werden, in welcher Größenordnung eine körperliche Leistung den Energieumsatz bei Tieren zu steigern vermag. In Untersuchungen von HALL & BRODY (1934) erhöhte sich der Sauerstoffverbrauch laufender Rinder um

130-190% gegenüber den am ruhig stehenden Tieren erhobenen Werten. Eine Bewegung von 3 km/h bewirkte bei Ziegen eine Steigerung der O_2-Aufnahme um 210-245% (BORUT et al., 1979), bei Gazellen um 180% (TAYLOR et al., 1974). Eine Laufgeschwindigkeit von 21 km/h erhöhte den Energieumsatz bei Gazellen um das 8,4-fache der Ruhewerte.

Über den Einfluß der Umgebungstemperatur auf die metabolische Wärmebildung sind verschiedene Untersuchungen durchgeführt worden. Die Auswirkung einer Kältebelastung auf die Versuchstiere wird nach übereinstimmenden Literaturangaben mit einer Erhöhung der Wärmebildung beantwortet. Umgebungstemperaturen um den Gefrierpunkt ergaben eine Steigerung der Sauerstoffaufnahme bei Ochsen um 46% (BELL et al., 1975), bei Ziegen um 28-46% (THOMPSON & THOMPSON, 1972; CLARKE et al., 1976) gegenüber Werten bei Umgebungstemperatur von 14-22°C, die von den Autoren als thermoneutral bezeichnet werden.

Nach BENNET (1972) ist es Schafen unter Kältebelastung möglich, ihren O_2-Verbrauch um 700% zu steigern. Diese extreme Erhöhung wurde in anderen experimentellen Arbeiten nicht beobachtet. WEBSTER (1967) ermittelte in einer Untersuchungsreihe an Schafen einen kältebedingten Anstieg der Sauerstoffaufnahme um bis zu 100%. Etwas geringere Werte wurden von KENNEDY et al. (1977) angegeben. Seine Ergebnisse stimmen in der Größenordnung mit Untersuchungen von THOMPSON et al. (1975, 1978) überein, der einen Anstieg der Sauerstoffaufnahme unterhalb der thermisch neutralen Zone zwischen 71% und 76% feststellte.

Die unter Kältebelastung bei den Tieren zu verzeichnende Erhöhung der Sauerstoffaufnahme bewirkt eine vermehrte Wärmeproduktion, die zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur dient. Dieser thermoregulatorische Vorgang wird als chemische Thermoregulation bezeichnet, und wird erreicht durch hormonal regulierte Steigerung des Zellstoffwechsels sowie durch nerval hervorgerufene Tonuszunahme der quergestreiften

Muskulatur, die bis zum Kältezittern führen kann.

Während die kältebedingten Reaktionen einheitlich dargestellt werden, sind die Ergebnisse bezüglich der Sauerstoffaufnahme und damit der chemischen Thermoregulation von Tieren unter Wärmebelastung widersprüchlich. Im folgenden werden Arbeiten vorgestellt, in denen eine Wärmebelastung bei den Versuchstieren eine Erhöhung des O_2-Verbrauchs bewirkte.

Untersuchungen von GEBREMEDHIN et al. (1981) über den Verlauf der endogenen Wärmebildung von Kälbern bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ergaben keine nennenswerten Unterschiede der Sauerstoffaufnahme in dem Temperaturbereich zwischen 15° und 29°C. Er schließt daraus, daß dieser Temperaturbereich die thermoneutrale Zone für Kälber darstellt. Außerhalb dieses Temperaturbereichs setzte eine Steigerung des Sauerstoffverbrauchs ein. Eine tägliche kurzfristige Wärmebelastung von bis zu 33°C führte bei HF-Kälbern zu einer signifikanten Erhöhung der O_2-Aufnahme im Vergleich zu gemäßigten Temperaturen von 19°C (BOUVIER et al., 1974). McLEAN et al. (1963, 1972) verfolgten die Sauerstoffaufnahme von Jungbullen und Ochsen bei wechselnden Umgebungstemperaturen. In ihren Untersuchungen wiesen die Tiere bei 35°C im Mittel eine leichte Erhöhung der O_2-Aufnahme auf. Allerdings waren die Schwankungen der Meßwerte unter der Wärmebelastung stark ausgeprägt, so daß ein Vergleich kaum möglich war.

Einhergehend mit wärmebedingter Hyperthermie wiesen ausgewachsene Ochsen in Untersuchungen von WHITTOW & FINDLAY (1968) einen Anstieg der Sauerstoffaufnahme um bis zu 47% auf. Eine lokalisierte Erwärmung des hypothalamischen Bereichs ergab einen durchschnittlichen Anstieg der O_2-Aufnahme um 34%, der aber, bedingt durch die erhebliche Variation der Werte, statistisch nicht abgesichert werden konnte.

BORUT et al. (1971) untersuchten die Wärmebildung von drei Beduin Ziegen in Körperruhe und während einer Bewegung

von 3 km/h bei Umgebungstemperaturen von 26°C und 40°C in der Klimakammer und unter Feldbedingungen. Bei ruhenden Tieren nahm die Wärmebildung bei 40°C sowohl in der Kammer als auch unter Feldbedingungen um etwa 25% zu. Dagegen blieb die Sauerstoffaufnahme der Tiere bei einer Bewegung von 3 km/h in beiden Temperaturbereichen gleich, wobei in der Kammer tendenziell eine Abnahme zu verzeichnen war. Zu berücksichtigen ist, daß dieser Versuch bei einer Meßfrequenz von 8-12 je Versuchsbedingung an einer geringen Tierzahl durchgeführt wurde.

Eine Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs stellten DARLING et al. (1973) bei Schafen fest, die bei einer Umgebungstemperatur von 30-38°C eine etwa zwölfprozentige Zunahme gegenüber thermoneutralen Bedingungen aufwiesen. Allerdings werden von den Autoren Meßprobleme im hohen Temperaturbereich erwähnt, da die Atmung durch die Maske erheblich behindert wurde. DEGEN & SHKOLNIK (1978) bestimmten die Sauerstoffaufnahme von Schafen in einer Respirationskammer. Bei 40°C zeigten zwei Merinoschafe einen deutlichen Anstieg der Sauerstoffaufnahme im Vergleich zu Umgebungstemperaturen von 20°C, hingegen wiesen drei weitere Merinoschafe und fünf Awassi Tiere eher eine Reduzierung auf.

Für eine experimentell ermittelte Verminderung der O_2-Aufnahme bei Wiederkäuern unter Temperaturbelastung sind in der Literatur ebenfalls Beispiele vorhanden. In einer zusammenfassenden Studie (YECK & STEWARD, 1959) der zehnjährigen Forschungstätigkeit an der University of Missouri auf dem Gebiet der Wärmeakklimatisation wird angegeben, daß sich die metabolische Wärmebildung ausgewachsener Rinder mit steigender Umgebungstemperatur von 1°F um durchschnittlich 2 kcal in der Stunde reduziert. An nichtlaktierenden Holstein Friesian Kühen wurde ein Rückgang der Wärmebildung um 16% bei konstanter Lufttemperatur von 32°C gegenüber den erhobenen Werten bei 19°C (SEIF et al., 1972) festgestellt. Ähnliche Temperaturbedingungen bewirkten in Untersuchungen

von YOUSEF et al. (1967; YOUSEF & JOHNSON, 1967) eine Abnahme des O_2-Verbrauchs bei nicht-laktierenden HF-Kühen um 20-34%. Zu den gleichen Ergebnissen kam YOUSEF (1968) nach artifizieller Erhöhung der Pansentemperatur, die einen Anstieg der Körpertemperatur von 38,5-39,7°C bewirkte.

HALES et al. (1968) bestimmte die O_2-Aufnahme von Ochsen und stellte bei Umgebungstemperaturen von 30°C eine Abnahme um 14% fest gegenüber den Vergleichswerten bei 15°C. Narkotisierte Kälber wiesen auf einem mit 39°C beheizten Operationstisch eine um 20% geringere O_2-Aufnahme auf als bei 30°C (TER MEULEN et al., 1975). Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die Befunde von HOPPE (1975, 1977), der die Thermoregulationsmechanismen der Dikdik Antilope untersuchte. Dikdiks gehören zu den kleinsten Wiederkäuern der Welt mit einem Körpergewicht der adulten Tieren von 3,5 bis 7 kg. Aufgrund ihres trockenheißen Lebensraumes im Buschland Ost- und Südwestafrikas weisen diese Tiere einige physiologische Besonderheiten auf. In Klimakammerversuchen bei Temperaturen von 21-27°C wiesen die Versuchstiere eine O_2-Aufnahme von 8,6-9,5 ml pro (kgKG x min) auf. Kammertemperaturen von 40-43°C bewirkten eine Erhöhung der Rektaltemperatur um 1-3°C bei gleichzeitiger Reduzierung der O_2-Aufnahme auf Werte um 5,0-7,6 ml pro (kgKG x min).

In den aufgeführten Literaturbeispielen wird die Änderung des Energieumsatzes bei Wiederkäuern während einer Wärmebelastung unterschiedlich dargestellt. Neben fehlerhaften Meßergebnissen ist die Ursache auch in dem wechselseitigen Auftreten von stoffwechselaktiven Hormonen zu suchen. Diese werden aufgrund der Geschwindigkeit des Eintritts der Stoffwechselwirkung in Hormone mit rascher und langsamer Wirkung eingeteilt. Zu den Hormonen mit rascher Wirkung zählen vor allem die sympathomimetisch wirksamen Katecholamine, die eine Steigerung des Zellstoffwechsels nach Sekunden oder Minuten bewirken. Die den Energieumsatz beeinflussenden

Schilddrüsenhormone zählen zu den langsam wirkenden Hormonen (NICHELMANN et al., 1975; KENNEDY et al., 1977).

Nach dem zeitlichen Ablauf läßt sich die Reaktion des Organismus auf eine Wärmebelastung in drei Phasen einteilen:

1. Initiale Schockreaktion (Sekunden bis Minuten)
2. Stabilisationsstadium (Minuten bis Stunden)
3. Kompensationsstadium oder Akklimatisationsstadium (Tage oder Wochen)
   (PROSSER, 1958, zit. nach YOUSEF, KIBLER & JOHNSON, 1967).

Die initiale Schockreaktion entspricht der Alarmphase des Allgemeinen Anpassungssydroms (SELYE, 1956). Dabei kommt es zu einer augenblicklichen Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin mit entsprechender Erhöhung des Energieumsatzes. Der weitere Verlauf einer Wärmebelastung ist gekennzeichnet durch eine Abnahme an stoffwechselaktiven Hormonen. So stellten YOUSEF & KIBLER (1967) bei nichtlaktierenden HF-Kühen 60 Stunden nach einer konstanten Temperaturbelastung von 38°C einen signifikanten Rückgang der Schilddrüsensekretion fest. Die O_2-Aufnahme reduzierte sich bereits 18 Stunden vorher.

Entscheidend für die Höhe des Energieumsatzes nach einer Wärmebelastung scheint die Zeitspanne zu sein. Während direkt nach einer Belastung eine Erhöhung der O_2-Aufnahme auftritt, wird im weiteren Verlauf einer Temperaturbelastung eine hormonell bedingte Abnahme der Stoffwechselaktivität bei Wiederkäuern verzeichnet.

Die endokrinologischen Befunde weisen darauf hin, daß eine Wärmebelastung den Energieumsatz vermindert. Dagegen ist die Frage nach dem Energieaufwand für die unter Wärmebelastung auftretende vermehrte Atemtätigkeit nicht eindeutig geklärt.

Zur Beantwortung dieser Frage befaßten sich mehrere Untersucher mit der Wärmepolypnoe des Hundes. Während ALBERS

(1961) und THIELE & ALBERS (1963) eine lineare Beziehung zwischen Atemfrequenz und Sauerstoffverbrauch nachwiesen, und den Wirkungsgrad des Hechelns als Wärmeabgabemechanismus mit 60% schätzen, ergaben Untersuchungen von HULL & LONG (1961), CRAWFORD (1962) sowie JENNINGS (1973), daß die Hechelfrequenz der Resonanzfrequenz des Hundethorax entspricht, wobei die Impedanz des Atemapparates am geringsten ist. Das würde bedeuten, daß der Hund gerade bei dieser Frequenz ein Maximum an Ventilation bei geringstem Energieaufwand erreichen könnte (zit. nach WITTKE, 1967). Aufgrund dieser Befunde wurden auch an Wiederkäuern Messungen des Gaswechsels während wärmeinduzierter Hyperventilation durchgeführt. Eine dreifache Erhöhung der Atemfrequenz bei Ochsen, durch lokale Erwärmung des Hypothalamus hervorgerufen, verursachte keine signifikante Änderung der O_2-Aufnhame (WHITTOW & FINDLAY, 1968). Zu ähnlichen Ergebnissen kam HALES (1968) an der gleichen Tierart. Bei einer konstanten Temperaturbelastung von 30°C hechelten die Tiere mit einer Atemfrequenz, die um das 6-fache höher lag als die Kontrollmessungen bei 15°C. Das Atemminutenvolumen erhöhte sich um das 4-fache. Der O_2-Verbrauch zeigte keine eindeutige Änderung. Erst bei Umgebungstemperaturen von 38°C, die einen 6-fachen Anstieg des Atemminutenvolumens bewirkten, wurde eine Erhöhung der O_2-Aufnahme um 22% verzeichnet. Nach weiterer Temperaturbelastung setzte eine langsamere, tiefere Atmung ein, wobei das Atemminutenvolumen um das 8-fache anstieg und die O_2-Aufnahme sich um 65% erhöhte. Eine Erhöhung des Atemminutenvolumens durch CO_2 induzierte Hyperventilation ging mit einem linearen Anstieg der O_2-Aufnahme einher. Auch bei Schafböcken registrierte HALES (1968) nach 10-facher Erhöhung der Atemfrequenz durch Erhitzung des Scrotums nur eine leichte Zunahme des O_2-Verbrauchs. HALES schließt aus seinen Befunden, daß auch beim Wiederkäuer das Wärmehecheln eine effiziente Maßnahme der Wärmeabgabe darstellt.

Messungen des Energieumsatzes und der metabolischen Wärmebildung bei Tieren sind immer an technische Einrichtungen wie Stoffwechselkäfige und Respirationsanlagen gebunden. Die Übertragbarkeit derart erhaltener Daten auf Feldbedingungen unterliegt Einschränkungen. Da es von Interesse ist, den Energieumsatz bei Tieren zu bestimmen, die sich in ihrer natürlichen Umgebung aufhalten und somit sämtlichen Umwelteffekten ausgesetzt sind, wurde nach einfach zu erfassenden Hilfsmerkmalen gesucht, die Rückschlüsse auf den Energieumsatz zulassen. Es ist allgemein bekannt, daß eine Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme besteht. Nach WHITTOW & FINDLAY (1968), die sich auf Angaben von BURTON & WADE (1965) beziehen, beträgt beim Ochsen der Anteil des O_2-Verbrauchs für die Herztätigkeit annähernd 10% der Gesamtaufnahme. WEBSTER (1967) konnte an drei von vier untersuchten Schafen eine enge Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der metabolischen Wärmebildung nachweisen. Die linearen Regressionskoeffizienten der Einzeltiere waren jedoch sehr unterschiedlich und auch nur für Herzfrequenzen bis 90 pro Minute ermittelbar. Durch mehr standardisierte Versuchsbedingungen erreichten YAMAMOTO et al. (1977, 1979) bei Rindern die Schätzung der Wärmebildung anhand der Herzfrequenz mit einem Schätzfehler von 7%. Sie kommen zu der Schlußfolgerung, daß die Beziehung zwischen der metabolischen Wärmebildung und der Herzfrequenz bei Rindern deutlicher ausgeprägt ist als bei Schafen. Allerdings räumen die Autoren ein, daß die Berechnung der Wärmebildung aus der Herzfrequenz nur für das Einzeltier nach individueller "Kalibration" möglich ist. Somit ist die Schätzung der Wärmebildung aus der Herzfrequenz ohne vorherige Messung der O_2-Aufnahme nicht möglich. Um diesen Nachteil zu eliminieren, setzten FUKUHARA & YAMAMOTO (1983) die relative Herzfrequenz in die Regressionsgleichung ein. In ihren Untersuchungen zur Schätzung der metabolischen Wärmebildung bei tragenden und laktierenden Rindern diente der Gruppenmittelwert als Basis-

frequenz. Mit Hilfe der relativen Herzfrequenz (absoluter Wert/Basiswert) ergab sich eine lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz und Wärmebildung mit einem phänotypischen Korrelationskoeffizienten von etwa 0,9. Zur Ermittlung der Basisherzfrequenz empfehlen die Autoren den Gruppenmittelwert von mindestens 6-8 Kühen einzusetzen.

Die wichtigsten Literaturergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erläuterungen und Empfehlungen zur Standardisierung von Respirationsversuchen an Wiederkäuern sind nur in ungenügendem Maße vorhanden.
- Die Sauerstoffaufnahme von Wiederkäuern variiert deutlich zwischen den Rassen und innerhalb von Rassen.
- Der Energieaufwand für Muskelarbeit, Milchleistung und Körperzuwachs läßt sich quantitativ nicht exakt erfassen und trennen.
- Die Umgebungstemperatur beeinflußt den Energieumsatz. Eine Kältebelastung erhöht die O_2-Aufnahme. Über die Auswirkung einer Wärmebelastung auf die Sauerstoffaufnahme sind entgegengesetzte Angaben vorhanden. Bei länger dauernder Hitzeeinwirkung wurde häufig trotz Hyperthermie eine Verminderung des Energieumsatzes festgestellt.

2. FRAGESTELLUNGEN

Die vorliegende Arbeit stellt eine methodische Erweiterung des umfangreichen Forschungsprogrammes des Instituts für Tierproduktion der Technischen Universität Berlin zur Frage der Adaptations- und Akklimatisationsfähigkeit landwirtschaftlicher Nutztiere dar.

In seinem Rahmen wurden mir folgende Aufgaben gestellt:

I. Prüfung der Brauchbarkeit einer indirekt kalorimetrischen Methode zur Bestimmung der endogenen Wärmebildung beim laktierenden Rind.

II. Untersuchung des Einflusses von Wärmebelastung erstlaktierender Rinder auf die thermoregulatorisch relevanten Parameter Rektaltemperatur, Sauerstoffaufnahme, Milchleistung, Herzschlagfrequenz, Futterwahlverhalten, Energieaufnahme, Wasseraufnahme, Atemfrequenz und Schwitzrate.

III. Prüfung der Hypothese einer chemischen Gegenregulation hyperthermer Rinder (erniedrigter Energieumsatz trotz erhöhter Körperkerntemperatur) auf der Grundlage der Befunde von II.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Technische Einrichtungen

3.1.1 Klimakammer

Für die Versuche standen zwei Klimakammern der Firma BBC/York, Mannheim, zur Verfügung, in denen jeweils zwei Rinder in Längsständen mit Gummimatten und Stroheinstreu gehalten werden konnten. Die Kammern besitzen separate Betriebs- und Regeleinrichtungen, die während des Versuchs synchron eingestellt waren.

Die technischen Daten sind (Werksangaben):

	Kammer I	Kammer II
Größe	50 m^3	59 m^3
Bodenfläche	21,2 m^2	19,6 m^2
Frischluftdurchsatz (max)	1200 m^3/h	600 m^3/h
Einstellbereich für die Temperatur	10°-40°C	15°-40°C
Toleranzbereich	$\pm$ 1°C	$\pm$ 1°C
Einstellbereich für die relative Luftfeuchte	35%-90%	60%*-90%
Toleranzbereich	$\pm$ 5%	$\pm$ 5%
	nicht unter Absolutfeuchte von 5g H_2O/kg trockener Luft	
Windgeschwindigkeit (max)	0,2 m/sec	0,2 m/sec

* durch zusätzliche Umluftentfeuchtungsanlage an den Einstellbereich von Kammer I angepaßt

3.1.2 Sauerstoffmeßanlage

Zur Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs diente ein halboffenes Meßsystem, wie in Abb.2 schematisch dargestellt.

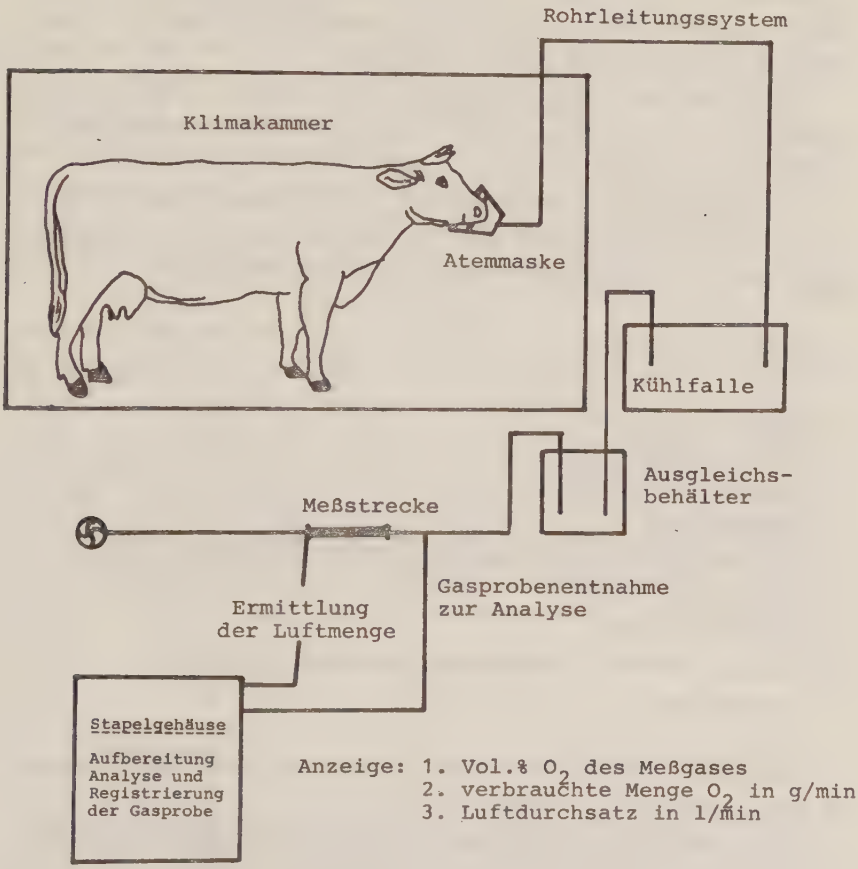

Abb. 2: Schematische Darstellung der Sauerstoffmeßanlage

Periphere Einrichtungen

Als Atemmaske wurde die modifizierte Kopfmaske eines Inhalationsgerätes für Pferde benutzt, die aus einem harten, elastischen Kunststoffmaterial besteht. Durch Einarbeitung von drei zusätzlichen Lufteinlaßventilen wurden fünf Wege geschaffen, die eine ausreichende Belüftung der Maske gewährleisten. Zwei weiche Kunststoffringe dienen der Anpassung der Atemmaske an den Kuhkopf.

Das benutzte Rohrleitungssystem besteht aus einem durchsichtigen PVC-Gewebe mit einem Innendurchmesser von 4 cm und einer Wandstärke von 0,5 cm.

Als Kühlfalle dient eine 250 Liter Haushaltstiefkühltruhe. Das sich am Ende des Systems befindende Elektrogebläse hat eine maximale Luftleistung von 300 l/min.

Zentrale Einrichtungen

1. Meßstrecke NW 25
2. Umschalthahn ND160
3. Meßumformer CMR 15205
4. Membranpumpe 2
5. Sauerstoffanalysator Magnos 2T (Meßbereich 16-21 Vol%)
6. Meßgaskühler CGEK
7. Rechengerät TZA3
8. Kompensations-Linienschreiber Minicomp DN 2/144E
9. Prüfgasflasche

Sämtliche Meßeinrichtungen wurden von der Firma Hartmann & Braun geliefert und installiert.

Das Gebläse erzeugt einen ständigen Luftstrom zwischen Klimakammer und Außenbereich. Durch die Lufteinlaßventile tritt die Luft in die Maske ein, wird teilweise von dem Tier geatmet, so daß Kammerluft und die Atemluft in das Rohrleitungssystem gelangen. Dieses Mischgas wird zunächst durch

eine Kühlfalle geleitet, um die hohe Luftfeuchte teilweise zu kondensieren. Aus den Differenzdrücken an der Meßstrecke mißt der Meßumformer den jeweiligen Luftdurchsatz, der manuell durch ein Regulierventil einstellbar ist. Eine Skalenanzeige im Stapelgehäuse gibt Auskunft über den herrschenden Luftdurchsatz und dessen Schwankungen.

Vor der Meßstrecke wird durch eine Membranpumpe eine Gasprobe von ca. 30 l/h entnommen und durch zwei Behältnisse mit Kalziumchlorid und Natronkalk zur Entfernung der Restfeuchte und des Kohlendioxids geleitet. Anschließend gelangt die Gasprobe in den Meßgaskühler, wird auf Normalbedingungen (0°C, 760 mmHg) standardisiert und dem Sauerstoffanalysator zugeleitet, der aufgrund der paramagnetischen Eigenschaft von Sauerstoff den relativen O_2-Anteil im Meßgas bestimmt. Der eingebaute Rechner ermittelt aus dem Luftdurchsatz und dem prozentualen Sauerstoffgehalt dieser Luft die verbrauchte Menge an Sauerstoff, und zeigt diese in Gramm O_2 pro Minute durch ein Zählwerk an ($1gO_2$=0,69981 l). Der Linienschreiber zeichnet kontinuierlich den prozentualen Sauerstoffanteil und die verbrauchte Menge an Sauerstoff auf.

Der Sauerstoffanalysator wird mit Kammerluft auf 21 Vol% O_2 als obere Grenze des Meßbereiches und durch ein Prüfgas auf 16,5 Vol% O_2 als untere Grenze des Meßbereiches eingestellt. Die Eichung erfolgte zwischen jedem Versuchsdurchgang.

3.2 Tiermaterial

Die Untersuchung fand an acht erstlaktierenden Rindern der Rasse Deutsche Schwarzbunte mit einem Holstein-Friesian-Anteil von über 60% statt. Die Tiere stammten aus dem Zuchtgebiet Osnabrück und wurden entsprechend ihren Abkalbedaten in zwei Gruppen zu je vier Tieren geteilt (Tab.4).

Tabelle 4: Angaben zu den verwendeten Tieren

Gruppe	Tier Nr.	HF-Anteil %	305 Tage-Leistung Milch kg	305 Tage-Leistung Fett kg	Körpergewicht kg $\bar{x}$
1	1	87,5	5615	212	617
	2	87,5	6142	228	529
	3	75	5636	208	536
	4	85,5	5664	219	580
2	5	87,5	5386	207	526
	6	75	6291	242	468
	7	62,5	4813	201	481
	8	90,5	4936	201	472

Um eine Hochträchtigkeit der Tiere am Ende des Versuchs auszuschließen, wurde eine Besamung erst ab dem 6. Laktationsmonat zugelassen. Bedingt durch diese späte Belegung und die sich wiederholende Versuchsbelastung kam es bei einzelnen Tieren zum mehrmaligen Umrindern, und die Abkalbung erfolgte bei fünf Tieren 6-9 Monate nach Versuchsende. Tier 3 und 8 befanden sich im letzten Versuchsdurchgang im 5. und 6. Trächtigkeitsmonat. Tier Nr. 2 wurde nicht tragend.

3.3 Versuchsbedingungen

Um die Tiere in unterschiedlichen Leistungshöhen vergleichen zu können, fanden die Versuchdurchgänge an folgenden Laktationstagen statt.

Tabelle 5: Angaben zu dem zeitlichen Verlauf der Untersuchung

Gruppe	Tier Nr.	Laktationstage VD* 1	VD 2	VD 3	Tag nach Lakt.-ende VD 4
1	1	71-90	154-173	287-306	374-393
	2	60-79	143-162	276-295	363-382
	3	67-86	150-169	283-302	370-389
	4	67-86	150-169	283-302	370-389
2	5	73-92	149-168	281-300	350-369
	6	68-87	144-163	276-295	345-364
	7	60-79	136-155	268-287	337-356
	8	77-96	153-172	285-304	354-373

*VD - Versuchsdurchgang

Vor und zwischen den Versuchsdurchgängen wurden die Tiere in einem klimatisierten Anbindestall bei ca. 18°C und 70-80% relativer Luftfeuchte gehalten.

Ein Versuchsdurchgang gliederte sich in folgende Abschnitte:

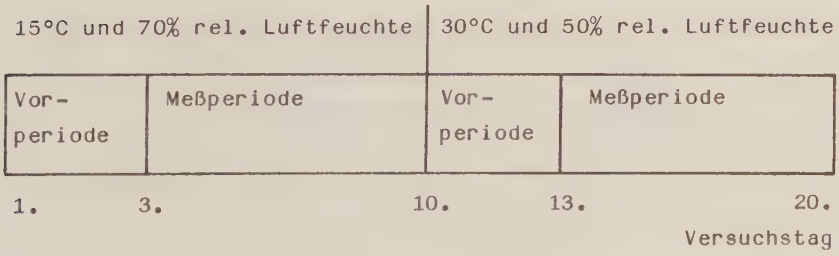

Abb. 3: Schematische Darstellung eines Versuchsdurchgangs

Die ersten zehn Tage eines Versuchsdurchgangs herrschte eine Kammertemperatur von 15°C bei einer relativen Luftfeuchte von 70%. In der anschließenden zehntägigen Belastungsphase wurde eine Kammertemperatur von 30°C bei einer relativen Luftfeuchte von 50% vorgegeben. Die dreitägigen Vorperioden dienten der Gewöhnung der Tiere an die jeweiligen Versuchsbedingungen. In den Meßperioden wurden sämtliche Merkmale erfaßt (Tab.6).

Die Temperaturbereiche wurden festgelegt, um ensprechend der Fragestellung die Reaktionen eines Tieres im normo- und im hyperthermen Zustand miteinander zu vergleichen, da sich erfahrungsgemäß bei einer konstanten Umgebungstemperatur von 30°C eine Hyperthermie einstellt. Um die Tiere nicht zusätzlich durch die Luftfeuchtigkeit zu belasten, wurde für hohe Temperaturen eine geringere Luftfeuchte gewählt, die jedoch in einem Bereich lag, wie im tropischen Klima anzutreffen. Unter einer Wärmebelastung beschreibt McLEAN (1972) den Einfluß der Luftfeuchte in dem Bereich von 50-70% auf die metabolische Wärmebildung als gering. In seinen Untersuchungen über die thermoregulatorischen Mechanismen von Ochsen bei einer Wärmebelastung von 35°C bei wechselnden Luftfeuchten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der O_2-Aufnahme.

Tabelle 6: Ablauf eines Versuchstages und zeitliche Datenerfassung

Uhrzeit	Maßnahmen
5.00 - 6.00	Melken Futtergabe: Heu, Kraftfutter, Grünmehl Rückwaage: Heu, Kraftfutter
7.45 - 8.15	Messung der Rektaltemperatur Ablesung des Wasserverbrauchs Futtergabe: Kraftfutter Rückwaage: Kraftfutter, Grünmehl
8.30 - 11.00	Messung des Sauerstoffverbrauchs Messung der Atem- und Herzfrequenz
11.00 - 11.45	Messung der Schwitzrate
12.30 - 13.30	Melken Futtergabe: Kraftfutter, Heu, Grünmehl Rückwaage: Kraftfutter
14.00 - 16.00	Messung des Sauerstoffverbrauchs Messung der Atem- und Herzfrequenz
16.00 - 16.30	Messung der Rektaltemperatur Futtergabe: Kraftfutter, Heu Rückwaage: Kraftfutter, Grünmehl

Lichtprogramm: 5.00 - 18.00 hell
18.00 - 5.00 dunkel

In den Vorperioden wurden keine Messungen des Sauerstoffverbrauchs und der Schwitzrate durchgeführt.

3.4 Erfassung der einzelnen Merkmale

Körpergewicht

Unmittelbar vor Einstellung der Tiere in die Klimakammer wurde das Körpergewicht auf einer Brückenwaage (Meßgenauigkeit ± 1 kg) ermittelt. Am 11. Versuchstag zwischen 8.00 und 9.00 Uhr wurden die Tiere außerhalb der Kammer erneut gewogen. In dieser Zeit wurden die Klimakammern auf 30°C und 50% rel. Luftfeuchte gebracht. Die 3. Wägung erfolgte nach Abschluß eines Versuchsdurchgangs am Morgen des 21. Tages.

Milchleistung und Milchinhaltsstoffe

In den Klimakammern wurde mit einer Eimermelkanlage gemolken. Die Tagesleistung wurde für jedes einzelne Tier getrennt ermittelt.

Jeweils einmal in den Vorperioden und zweimal in den Meßperioden wurden Proben aus den Einzelgemelken zur Bestimmung des prozentualen Milcheiweiß- und Milchfettgehaltes entnommen und im Institutslabor analysiert. Die gewogenen Mittelwerte beider Analysen ergaben die Tageswerte, die in den Meßperioden zu einem Durchschnittswert zusammengefaßt wurden.

Rektaltemperatur

Die Rektaltemperatur wurde am Anfang und am Ende eines Versuchstages mit Hilfe eines Sekundenthermometers "Thermovit 4400" der Firma Testotherm KG, Lenzkirch, gemessen.

Wasserverbrauch

In den Klimakammern besitzt jeder Standplatz eine eigene Selbsttränke mit zugehöriger Wasseruhr (Ablesegenauigkeit

0,1 l). Der tägliche Wasserverbrauch des Einzeltieres wurde durch Ablesen der Wasseruhren um 9.00 Uhr ermittelt.

Futteraufnahme

Bei der Fütterung der Versuchstiere wurden folgende Überlegungen beachtet. Eine restriktive Fütterung limitiert die Energieaufnahme und somit den Energieumsatz. Daher wurde eine ad libitum-Fütterung durchgeführt. Wie auf Seite 8 beschrieben, führt die Futteraufnahme zu einer vorübergehenden beachtlichen Steigerung der Wärmebildung, die als kalorigene Wirkung bezeichnet wird. Um eine gleichbleibende Größe dieses Effektes zu erhalten, wurde durch mehrmalige Futterzuteilung eine über den gesamten Tag verteilte Futteraufnahme angestrebt.

Den Tieren wurde Heu, Kraftfutter und Luzernegrünmehl in Einzelfreßständen zu folgenden Zeiten vorgelegt (Tab.7).

Tabelle 7: Fütterungsplan

Uhrzeit	5.00	8.00	13.00	17.00
Futtergabe				
Kraftfutter	x	x	x	x
Heu	x		x	
Luzernegrünmehl	x		x	
Rückwaage				
Kraftfutter	x	x	x	x
Heu	x			
Luzernegrünmehl		x		x

Heu befand sich ständig in der Futterraufe. Die mengenmäßige Zuteilung des Kraftfutters richtete sich nach dem Verzehr des Vortages. Da die Kraftfutterreste im Trog oft-

mals mit Speichel vermengt waren, wurde so bemessen, daß nur geringe oder keine Reste verblieben, um den Wiegefehler der Rückwaage niedrig zu halten.

Eine tägliche Kraftfutterrückwaage pro Tier wurde zur Bedingung gesetzt, um die Voraussetzung einer ad libitum-Fütterung annähernd zu erfüllen. Die Menge des vorgelegten Luzernegrünmehls betrug 2 kg und wurde nur in Einzelfällen vollkommen aufgenommen. Zusätzlich erhielt jedes Tier täglich 100 g einer vitaminierten Mineralstoffmischung. Durch diese Fütterungsart sollte gleichzeitig eine Aussage über das Futterwahlverhalten der Tiere getroffen werden.

Jeder Versuchsdurchgang einer Tiergruppe wurde mit einheitlichen Futterchargen durchgeführt. Dennoch traten innerhalb einer Heucharge deutliche Schwankungen in den Rohnährstoffgehalten auf. Daher wurden pro Versuchsdurchgang drei Proben genommen und die Inhaltsstoffe nach der Weender Analyse im Institutslabor analysiert, um die durchschnittlichen Rohnährstoffgehalte zu ermitteln. Für Kraftfutter und Grünmehl wurden je Versuchsdurchgang eine Analyse durchgeführt. Der Hohenheimer Futterwerttest (s. DLG Forschungsbericht Nr. 538 022, 1983) diente der Schätzung des Gehaltes an umsetzbarer Energie und NEL in den Futtermitteln.

Da bei einer ad libitum-Fütterung große Mengen an Kraftfutter aufgenommen werden, wurde ein Mischfutter mit geringem Energiegehalt und höherem Rohfaseranteil gewählt, um Verdauungsstörungen in Form von Tympanien und extremen pH-Schwankungen im Pansen vorzubeugen. Zur Vermeidung einer Eiweißüberversorgung, die zu einer Ammoniakanreicherung im Blutkreislauf führen kann, betrug der Rohproteingehalt des Mischfutters weniger als 18%.

Herz- und Atemfrequenz

Die Atemfrequenz wurde durch Auszählen der Flankenbewegungen bestimmt. Die Palpation des Pulses diente zur Er-

Tabelle 8: Rohnährstoff- und Energiegehalte der verwendeten Futtermittel (% in der Trockensubstanz)

Futtermittel	Versuchs-durchgang	Tier-gruppe	TS in %	Roh-faser	Roh-prot.	Roh-fett	Roh-asche	NfE	MJ pro kg Trockensubstanz NEL	UE
Kraftfutter	1	1	84,8	11,9	14,2	1,30	8,21	64,3	6,64	10,77
		2	84,3	12,0	14,7	1,40	7,89	65,2	6,60	10,73
		1	83,8	14,3	17,2	2,84	9,19	51,4	5,76	9,61
	2	2	84,2	12,8	15,3	2,94	9,18	59,8	5,88	9,78
		1	85,1	14,8	17,3	2,80	9,28	55,8	5,43	9,17
	3	2	86,2	15,1	17,3	2,65	8,70	56,3	5,94	9,86
		1	83,0	13,9	17,7	2,47	9,04	56,9	6,38	10,46
	4	2	85,7	13,5	16,2	2,35	10,04	57,9	6,25	10,27
Grünmehl	1	1	88,4	30,7	15,3	2,72	9,77	41,4	5,55	9,32
		2	89,6	29,8	14,1	3,10	10,30	42,7	6,24	10,27
	2	1	87,3	28,5	13,5	2,29	6,97	48,7	5,58	9,34
		2	87,2	29,5	14,2	1,99	7,76	46,5	5,24	8,87
	3	1	88,8	26,6	14,0	2,87	8,51	48,0	4,86	8,37
		2	88,5	26,6	15,5	3,20	8,31	46,3	4,80	8,30
	4	1	87,1	27,1	16,5	2,68	9,20	44,5	6,43	10,53
		2	87,2	29,0	15,5	2,92	7,50	45,1	6,02	9,97
Heu	1	1	85,4	28,3	10,0	1,74	9,64	50,4	5,30	8,93
		2	80,1	29,1	8,8	1,66	10,60	49,9	4,78	8,21
	2	1	80,4	23,5	7,5	1,46	15,89	51,7	4,56	7,89
		2	87,2	29,5	6,0	1,56	7,72	55,2	4,93	8,41
	3	1	82,5	27,2	9,7	1,55	9,75	51,7	4,65	8,02
		2	85,9	25,1	11,5	1,87	12,92	48,7	5,09	8,65
	4	1	82,1	24,8	11,5	1,79	13,51	48,5	4,87	8,35
		2	77,2	25,1	11,2	2,26	13,28	48,2	5,46	9,16

mittlung der Herzfrequenz und zwar am liegenden Tier palmar des Hauptmittelfußknochens, am stehenden Tier ventral der Schwanzwurzel.

Schwitzrate

Während der Meßperiode wurde die Schwitzrate täglich für jedes einzelne Tier ermittelt. Die Messung erfolgte mittels eines Digitalanzeigegerätes "DAL-20" der Firma Novasina AG, Zürich. Die Methode ist am hiesigen Institut von AUER & WENIGER (1982) entwickelt worden und fand Anwendung in Klimastall- und Klimakammerversuchen von PASCHKE (1982), GROßMANN (1983) und KLEIN (1984). Die Schwitzrate wird am Tier an drei Meßstellen - Schulter, mittlere Flanke und hintere Hüfte - ermittelt. Sie stellt den prozentualen Anstieg der relativen Luftfeuchte in einer nichtventilierten Meßkapsel nach 30 Sekunden Meßzeit dar.

Um die Vergleichbarkeit der Werte zwischen den einzelnen Versuchsdurchgängen zu gewährleisten, wurden die Fühlertemperatur und die Anfangsfeuchte in der nichtventilierten Kapsel bei jeder Kammertemperatur konstant gehalten.

Sauerstoffaufnahme

In der Meßperiode wurde der O_2-Verbrauch für jedes Tier in einer Vor- und Nachmittagsmessung erfaßt. Die Meßdauer betrug pro Tier etwa 20-30 Minuten.

Im einzelnen wurde folgendermaßen vorgegangen: Vor Anlegen und nach Abnahme der Atemmaske wurden Herz- und Atemfrequenz notiert. Während der Messung wurde die Kammer nicht betreten, um jede Störung der Tiere zu vermeiden. Auf einem Fernsehmonitor konnte das Verhalten der Tiere beobachtet werden.

Die Atemfrequenz während der Messung konnte anhand der Bewegungen des Ausgleichsbehälters bestimmt werden.

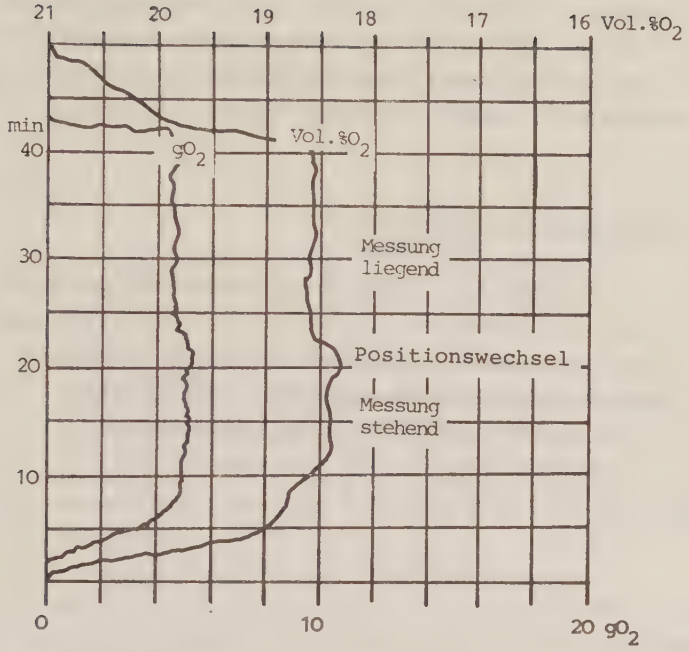

Abb. 4: Ausschnitt aus einem Registrierstreifen des O_2-Verbrauchs und des % O_2-Anteils des Meßgases

Bedingt durch die Restluft in dem gasführenden System dauerte es etwa 5-10 Minuten, bis sich der Meßwert der O_2-Aufnahme stabilisierte (Abb.4). Anschließend erfolgte eine 10-minütige Registrierung des O_2-Verbrauches, und der Mittelwert stellte den jeweiligen Meßwert in gO_2/min dar. Schwankungen von $\pm$ 0,25 gO_2/min wurden toleriert. Größere Schwankungen führten zur Unterbrechung der Registrierung bis sich der O_2-Verbrauchswert erneut stabilisierte.

Legte sich das Tier hin, oder stand es während der Messung auf, ergaben sich für einige Minuten wechselnde O_2-

Verbrauchswerte. Daher wurde bei jeder Stellungsänderung der Tiere die Registrierung des Sauerstoffverbrauchs abgebrochen. Falls die Meßzeit vor einer Stellungsänderung ≥ 5 Minuten betrug, wurde der durchschnittliche Minutenwert notiert. In Einzelfällen konnte während einer Messung Werte für stehend und liegend ermittelt werden.

3.5 Statistische Auswertung

Die im Kapitel 4.1 beschriebene Auswirkung der Maske auf die Herz- und Atemfrequenz der Tiere wurde varianzanalytisch mit Hilfe des LSML76-Programms von HARVEY (1976) nach der Least-Squares-Methode (z.B. HARVEY, 1975) geprüft. Dabei wurde folgendes statistisches Modell angewendet:

Modell 1

$$y_{ijk} = \mu + m_i + T_j + (MT)_{ij} + e_{ijk}$$

Es bedeuten:

y_{ijk}	Beobachtungswert für das betreffende Merkmal
μ	Mittelwert für das betreffende Merkmal
M_i	Einfluß der Meßzeit i
T_j	Einfluß der Kammertemperatur j
$(MT)_{ij}$	Interaktion zwischen Meßzeit i und Kammertemperatur j
e_{ijk}	Restfehler

In dem Restfehler ist die Varianz zwischen den Tieren und den Versuchsdurchgängen enthalten.

Die Differenzen zwischen Mittelwerten gleicher Gruppengröße wurden mit dem t-Test auf die Signifikanzgrenzen geprüft. Die Mittelwerte und die Korrelationen der Merkmale wurden über vorhandene Programmpakete aus der Programmbi-

bliothek des Fachbereiches 15 der Technischen Universität Berlin errechnet.

Der im Kapitel 4.2 beschriebene Einfluß der Wärmebelastung auf die erhobenen Merkmale wurde varianzanalytisch nach folgendem gemischten Modell untersucht:

Modell 2

$$y_{ijk} = \mu + B_i + t_j + (Bt)_{ij} + e_{ijk}$$

Es bedeuten:

y_{ijk}	Beobachtungswert für das betreffende Merkmal y
μ	Mittelwert für das betreffende Merkmal
B_i	Einfluß der Behandlung i (fixer Faktor)
t_j	Einfluß des Tieres j (zufälliger Faktor)
$(Bt)_{ij}$	Interaktion zwischen Behandlung i und Tiere j
e_{ijk}	Restfehler

Dabei wurden die Meßperiode 2 (15°C) und die Meßperiode 4 (30°C) als fixer Faktor "Behandlung" bezeichnet. Die Tiere gehen in dieses Modell als zufällige Einflußfaktoren ein. Für jeden Versuchsdurchgang wurde eine eigene Analyse durchgeführt. Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Tiere in den vier Versuchsdurchgängen zu verbessern, wurden die Kühe in einer Voruntersuchung mit Hilfe einer linearen Regression auf eine durchschnittliche Milchleistung korrigiert. Da sich kein Unterschied zu den Ergebnissen der Varianzanalyse ohne Regression ergab, wurde auf diese Maßnahme bei der endgültigen Analyse verzichtet.

4. ERGEBNISSE

4.0 Vorbemerkungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung werden in zwei Abschnitten dargestellt. Im ersten Abschnitt wird entsprechend der Fragestellung I die Brauchbarkeit und Genauigkeit der angewendeten Methode aufgezeigt und diskutiert. Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse zur Fragestellung II und III vorgestellt, indem die erhobenen Meßdaten dargestellt und miteinander in Beziehung gesetzt werden.

4.1 Ergebnisse zur Methodik der Sauerstoffmessung

4.1.1 Allgemeine Bemerkungen zum Versuchsablauf

Bei einem so leicht irritierbaren Vorgang wie der äußeren Atmung ist das Untersuchungsverfahren für den Grad der Approximation an den wahren Betrag der zu ermittelnden Größe von entscheidender Bedeutung (WITTKE, 1967). Im folgenden wird anhand von subjektiven und objektiven Kriterien der Einfluß der angewendeten kalorimetrischen Methode auf das Tier beschrieben.

In einem dreiwöchigen Vorversuch wurde die Apparatur getestet und das methodische Vorgehen ausgearbeitet. Aus zeitlichen Gründen war es nicht möglich, den eigentlichen Versuchstieren eine Eingewöhnungsphase einzuräumen. Somit standen die Tiere beim ersten Versuchsdurchgang das erste Mal in der Klimakammer und wurden mit der Atemmaske konfrontiert. Daher sind die Ergebnisse des ersten Versuchsdurchgangs mit Vorbehalt zu bewerten, zudem sich anfangs zusätzliche technische Schwierigkeiten ergaben. Vor allem während der Belastungsphase kondensierte die Atemluft in dem Rohrleitungssystem, und die angesammelte Flüssigkeit engte das

Lumen der gasführenden Leitungen ein. Dies führte zu größeren Schwankungen des Luftdurchsatzes und folglich zu fehlerhafter Registrierung des O_2-Verbrauchs. Durch Integrierung der Kühlfalle in das System wurde dieses Problem gelöst und in den nachfolgenden Versuchsdurchgängen bewährte sich die Meßeinrichtung.

Das Anlegen und das bis zu 30-minütige Tragen der Atemmaske wurde von allen Tieren ohne erkennbare Abwehrrekationen geduldet. Während des gesamten Versuchs wurde keine Messung wegen Unruhe oder Gegenwehr eines Tieres ausgesetzt. Bei sehr langer Meßzeit in der Belastungsphase (30°C) sammelte sich bei einigen Tieren Kondensat in der Atemmaske an. Die Inspiration dieser Flüssigkeit führte zum Hustenreiz und in einzelnen Fällen mußte die Messung abgebrochen werden, doch war die Zeit der vorangegangenen Registrierung des O_2-Verbrauchs ausreichend, um in die Bewertung einzugehen.

Die aus den eigenen 896 Messungen ermittelte durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von 5,88 ml pro Kilogramm Körpergewicht in der Minute lag über den in Tabelle 3 angegebenen Werten für adulte Rinder. Allerdings stimmt der Durchschnittswert mit den Angaben von FUKUHARA et al. (1983) überein, die an einem vergleichbaren Tiermaterial von laktierenden HF-Kühen zu einem Durchschnittswert der Sauerstoffaufnahme von 5,79 ml/kgKG x min kamen.

Der kleinste gemessene Wert betrug 3,29 mlO_2/kgKG x min, der Maximalwert 8,58 mlO_2/kgKG x min. Der Minimalwert wurde im 1. Versuchsdurchgang an Tier Nr. 4 am 20. Versuchstag ermittelt. Das Tier befand sich in liegender Position. Der Maximalwert wurde im 3. Versuchsdurchgang an Tier Nr. 7 am 5. Versuchstag ermittelt. Im Versuchsprotokoll ist vermerkt, daß Tier Nr. 7 an diesem Tag im Östrus war und sich während der Messung motorisch unruhig verhielt. Der Anstieg der Herzfrequenz während der Messung um 12 Schläge pro Minute bestätigt diese Eintragung. Somit wurde der ermittelte Maximalwert der Sauerstoffaufnahme durch das unruhige Verhalten

in Verbindung mit dem Östrus eines Tieres zum Zeitpunkt der Messung verursacht.

4.1.2 Vergleich der Herzfrequenz vor und nach der O_2-Messung

Da die Herzfrequenz unter gleichen Bedingungen eine stoffwechselbezogene Größe darstellt, sollte durch den Vergleich der Herzfrequenz unmittelbar vor Anlegen und nach Absetzen der Atemmaske geprüft werden, ob sich die Umsatzrate während der Messung verändert.

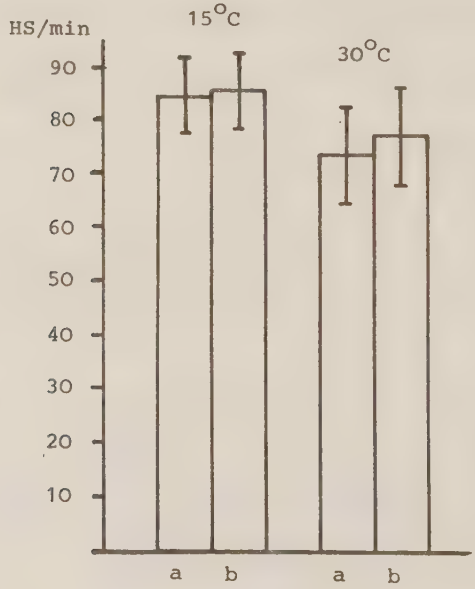

Abb. 5: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenz vor (a) und nach (b) der O_2-Messung bei Umgebungstemperaturen von 15°C und 30°C

Die Gegenüberstellung der Mittelwerte sämtlicher Messungen zeigte im ersten Versuchsabschnitt (15°C) eine Zunahme der Herzfrequenz nach Absetzen der Atemmaske um etwa 2 Schläge/Minute. In der Belastungsphase betrug die Zunahme 4 Schläge/Minute (Abb.5).

Bei der Erfassung der Herzfrequenz wurde die Position des Tieres getrennt nach stehend und liegend notiert. Varianzanalytisch (Modell 1) erwies sich die Position des Tieres als signifikanter Einflußfaktor auf die Herzfrequenz, in dem die stehenden Tiere eine um 4-6 Schläge/Minute höhere Frequenz aufwiesen. Da die Tiere während der O_2-Messung des öfteren ihre Position änderten, sind die Unterschiede der Herzfrequenz vor und nach Absetzen der Atemmaske zum Teil auch eine Folge des Positionswechsels. Aus der nach stehend und liegend getrennten Gegenüberstellung der Herzfrequenz geht hervor, daß die Frequenzsteigerung während der O_2-Messung am stehenden Tier unabhängig von der Kammertemperatur erfolgte (Abb.6). Die Werte der liegenden Tiere wiesen eine signifikante Interaktion zwischen der Meßzeit und der Kammertemperatur auf, indem die Herzfrequenz im ersten Versuchsabschnitt (15°C) gleich blieb und sich nach der O_2-Messung in der Belastungsphase (30°C) um durchschnittlich 4 Schläge/Minute erhöhte.

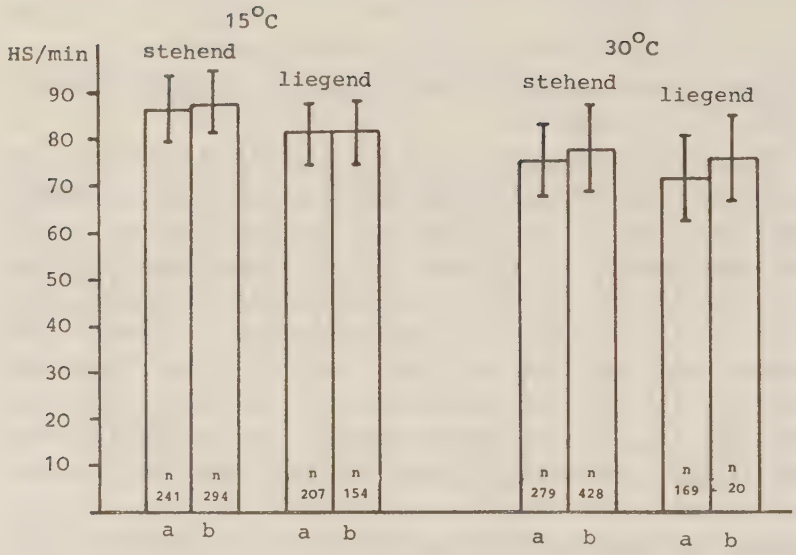

Abb. 6: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenz vor (a) und nach (b) der O_2-Messung bei Umgebungstemperaturen von 15°C und 30°C unter Berücksichtigung der Position

4.1.3 Einfluß der Methode auf die Atemfrequenz

Im Vergleich zu anderen Körperfunktionen unterliegt der Atemvorgang bei der Benutzung von Atemmasken in Respirationsversuchen der stärksten Beeinflussung.

Die Auswirkung der angewendeten Methode auf die Atmung kann nur anhand der Atemfrequenz beschrieben werden, da es mit dem technischen Gerät nicht möglich war weitere Ventilationsgrößen zu erfassen.

In der Abbildung 7 sind die Mittelwerte der Atemfrequenz unmittelbar vor Anlegen und nach Abnahme der Atemmaske, sowie während der Maskenatmung dargestellt.

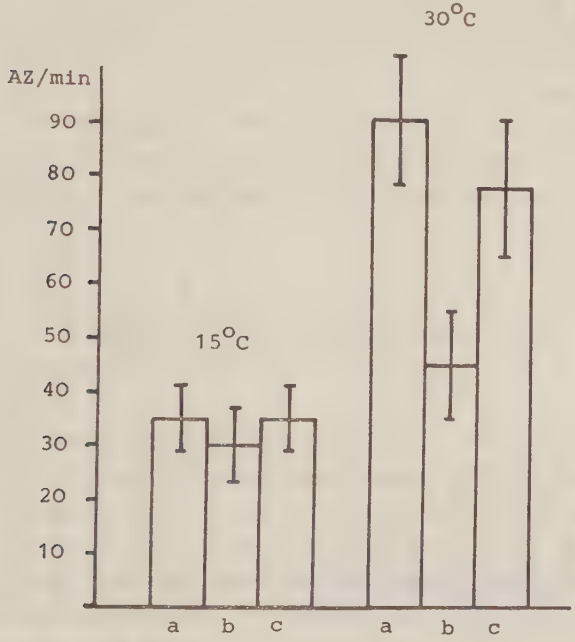

Abb. 7: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Atemfrequenz (AZ/min) vor (a), während (b) und nach (c) der O_2-Messung bei Umgebungstemperaturen von 15°C und 30°C

Die Maskenatmung erfolgte mit einer deutlich niederen Frequenz als die freie Atmung. Bei der Kammertemperatur von 15°C betrug die Reduzierung der Atemfrequenz ca. 15%. Nach Abnahme der Maske stellte sich die Ausgangsfrequenz wieder ein, und auch der t-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Mittelwerten. In der Bela-

stungsphase (30°C) verminderte sich die Atemfrequenz unter der Maske um durchschnittlich 50%. Nach Abnahme der Maske stieg die Frequenz bis auf etwa 87% des Ausgangswertes an. Zwischen den Mittelwerten der Atemfrequenz unter Wärmebelastung bestehen also erhebliche Unterschiede.

Zu jeder Atemfrequenz wurde die Position des Tieres notiert. Im Gegensatz zur Herzfrequenz hatte das liegende Tier

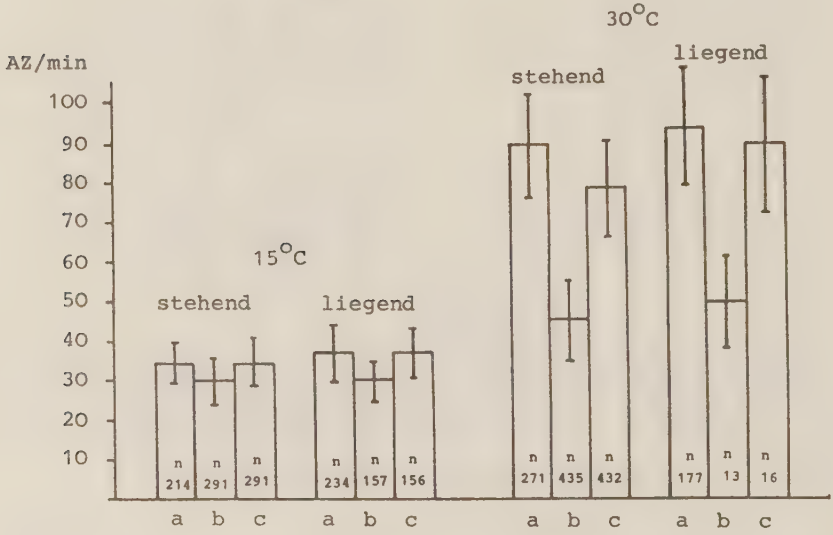

Abb. 8: Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Atemfrequenz vor (a), während (b) und nach (c) der O_2-Messung bei Umgebungstemperaturen von 15°C und 30°C unter Berücksichtigung der Position

eine etwas höhere Atemfrequenz als das stehende Tier. Die erhebliche Reduzierung der Atemfrequenz während der O_2-Messung wird ebenfalls bei der nach stehend und liegend getrennten Darstellung deutlich. Allerdings sind signifikante Unterschiede zwischen der Atemfrequenz vor und nach Anlegen der Maske nur bei der Kammertemperatur von 30°C zu verzeichnen. Die Interaktion zwischen der Meßzeit und der Kammertemperatur erwies sich bei der Atemfrequenz nach Modell 1 als hochsignifikant, da sowohl bei den stehenden als auch bei den liegenden Tieren eine Reduzierung der Atemfrequenz nach Absetzen der Maske bei Kammertemperatur von 30°C eintrat.

4.1.4 Der Sauerstoffverbrauch am stehenden und liegenden Tier

In der ursprünglichen Versuchsplanung war vorgesehen, den Gaswechsel nur am stehenden Tier zu messen, um eine exaktere Standardisierung zu erhalten. In dem Vorversuch wurde deutlich, daß eine Messung nur am stehenden Tier nicht durchführbar war, da sich auch aufgetriebene Tiere nach kurzer Zeit wieder hinlegten. Der ständige Positionswechsel beunruhigte das Tier und bewirkte größere Schwankungen in der Sauerstoffaufnahme.

Aufgrund dieser Erfahrung wurde die O_2-Messung in der vom Tier gewählten Position durchgeführt. Über das Verhalten der Tiere in Bezug auf Stehen und Liegen geben die in Abbildung 6 und 8 enthaltenen n-Zahlen Auskunft. Der weitaus größte Anteil der Messungen wurde am stehenden Tier erhoben. Vor allem während der Belastungsphase sind kaum Messungen am liegenden Tier durchgeführt worden. Die Kühe wurden in diesem Versuchsabschnitt häufiger stehend angetroffen, standen aber auch meistens kurze Zeit nach Anlegen der Maske auf, da ihnen die Maskenatmung mit dem veränderten Atemtyp in ste-

hender Position leichter fiel.

In dem ersten Versuchsabschnitt (15°C) sind etwa die Hälfte der O_2-Verbrauchswerte am liegenden Tier erfaßt worden. Inwieweit die in der Literatur vorhandenen Angaben über die Reduzierung der O_2-Aufnahme beim liegenden Tier in diesem Versuch Bestätigung fand, konnte anhand von 53 Fällen geprüft werden, in denen für jedes Tier pro Messung ein liegender und ein stehender O_2-Verbrauchswert ermittelt werden konnte.

In liegender Position ergab sich jeweils eine Reduzierung des Sauerstoffverbrauchs. Die Gesamtreduktion betrug 8,3%. Die Werte der Einzeltiere sind aus der Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9: Vergleich des Sauerstoffverbrauchs stehender und liegender Tiere (stehend = 100%)

Tier Nr.	O_2-Abnahme %	Anzahl Wertepaare
1	6,71	3
2	10,01	12
3	8,10	5
4	7,55	5
5	7,21	13
6	7,80	1
7	12,68	12
8	6,13	2

4.1.5 Der Sauerstoffverbrauch zu verschiedenen Meßzeiten

Die Messung der O_2-Aufnahme erfolgte zweimal täglich in einer Vor- und Nachmittagsmessung, wobei die Tiere in gleicher Reihenfolge untersucht wurden, so daß an den verschie-

denen Meßtagen der O_2-Verbrauch des einzelnen Tieres etwa zur gleichen Uhrzeit gemessen wurde.

Zur Darstellung der tageszeitlichen Schwankungen der Sauerstoffaufnahme wurde in Abbildung 9 der Nachmittagswert gleich 100% gesetzt, und die prozentuale Abweichung des Vormittagswertes eingezeichnet. Der t-Test ($P \leq 0{,}05$) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Vormittags- und Nachmittagsmessung in den ersten drei Versuchsdurchgängen (während der Laktation). Im vierten Versuchsdurchgang besteht ein mit dem t-Test absicherbarer Unterschied zwischen den Tagesmeßzeitpunkten. Dies deutet darauf hin, daß bei den nichtlaktierenden Kühen ein deutlicher Tagesgang der Stoffwechselaktivitäten vorliegt, der sich im Verlauf des Tages in eine frühe Ruhe- und spätere Aktivitätsphase unterteilen läßt.

In den Abbildungen 10 und 11 sind die Verläufe der O_2-Aufnahmen an den verschiedenen Meßtagen für jedes Tier in den vier Versuchsdurchgängen dargestellt. Die Verläufe werden durch die dreitägigen Vorperioden eines jeden Temperaturbereichs unterbrochen, in denen keine O_2-Verbrauchsmessungen vorgenommen wurden. Um den Einfluß der Position des Tieres zu eliminieren, sind nur Werte angegeben, die am stehenden Tier ermittelt wurden. Lagen für ein Tier an einem Meßtag zwei Sauerstoffwerte in stehender Position vor, ist der Mittelwert eingetragen. Unvollständige Verläufe sind durch Tiere verursacht, die zu beiden Tagesmeßzeitpunkten gelegen haben. Dies ist vor allem im ersten Versuchsabschnitt (15°C) der Fall, wobei Tier Nr. 2, 5 und 6 im dritten und vierten Versuchsdurchgang nicht mehr erscheinen, da sie während der O_2-Messung gelegen haben. Die Ursache des ruhigeren Verhaltens der Tiere ergab sich durch die fortschreitende Gewöhnung der Tiere an die Methode.

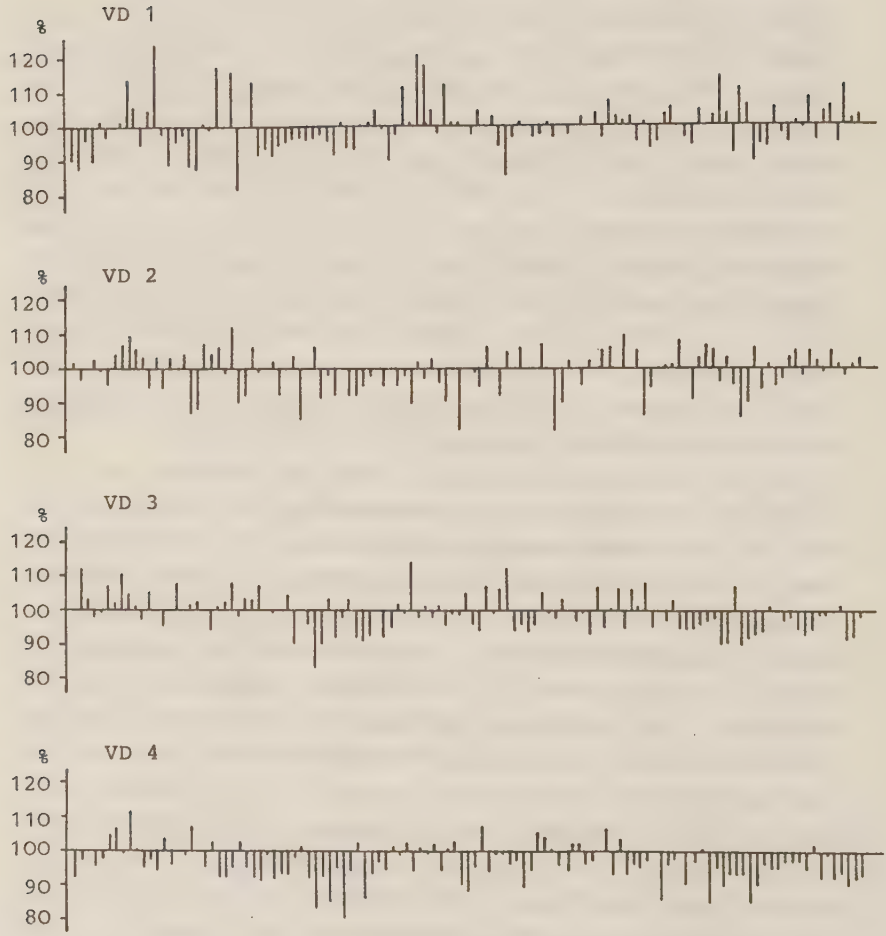

Abb. 9: Prozentuale Abweichungen der Sauerstoffaufnahmen aller Tiere im Vergleich vormittags zu nachmittags (Nachmittags O_2-Wert = 100%)
VD - Versuchsdurchgang

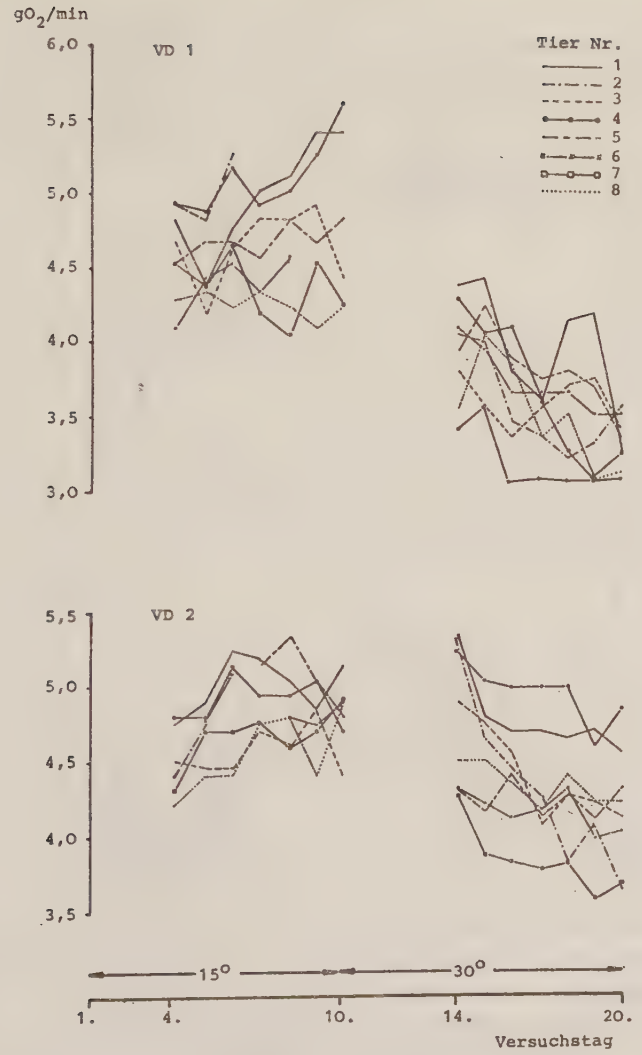

Abb. 10: Verlauf der Sauerstoffaufnahme im ersten und zweiten Versuchsdurchgang in Abhängigkeit vom Versuchstag. Tagesmittelwerte der Einzeltiere in stehender Position.
VD - Versuchsdurchgang

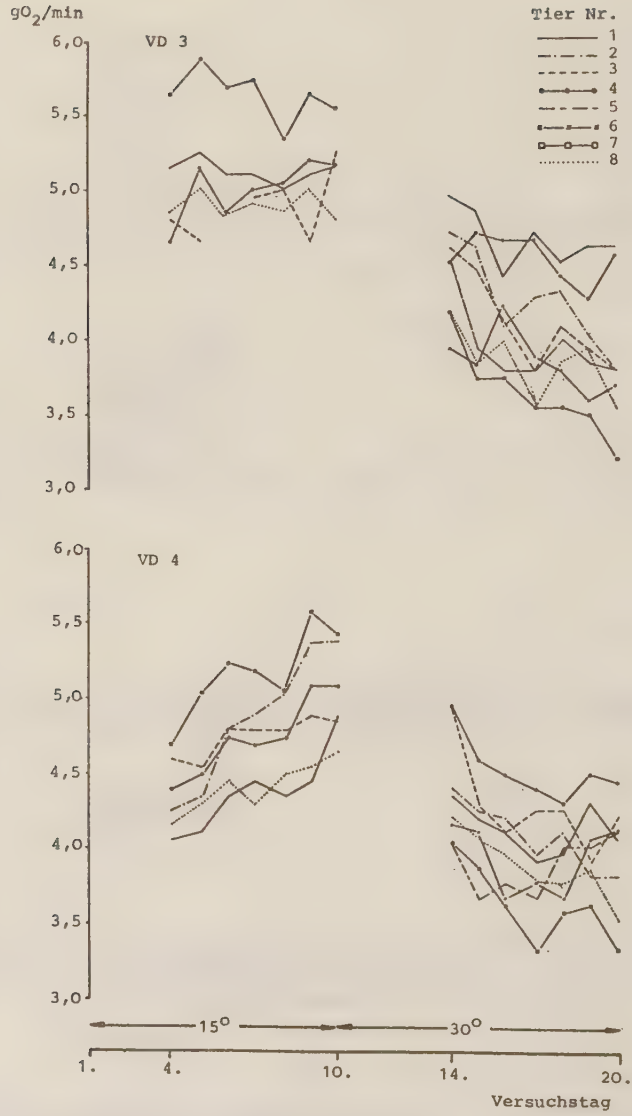

Abb. 11: Verlauf der Sauerstoffaufnahme im dritten und vierten Versuchsdurchgang in Abhängigkeit vom Versuchstag. Tagesmittelwerte der Einzeltiere in stehender Position.
VD - Versuchsdurchgang

Die in den Abbildungen 10 und 11 dargestellten Einzelwerte der Versuchsdurchgänge dienen der Veranschaulichung der Schwankungsbreite der erhobenen Daten des Einzeltieres und der Versuchstiere untereinander. Das Aufzeigen und die Interpretation bestehender Beziehungen und Tendenzen werden im Kapitel 4.2 vorgenommen.

4.1.6 Diskussion und Empfehlungen zum methodischen Vorgehen bei Respirationsversuchen an Rindern

Die differierenden Literaturangaben über den mit unterschiedlichen Methoden ermittelten Gaswechsel von Rindern lassen es erforderlich erscheinen, vor der Beschreibung der Ergebnisse die eigene Methode in Bezug auf die technischen Einrichtungen und die experimentelle Vorgehensweise kritisch zu überprüfen.

Sämtliche im Stapelgehäuse eingebauten Meß-, Analysen- und Anzeigegeräte arbeiteten im Versuchsablauf störungs- und fehlerfrei. So erübrigte sich die im ersten Versuchsdurchgang in einem Abstand von zwei bis drei Tagen durchgeführten Kontrolleichungen des Sauerstoffanalysators (Magnos 2T), da keine oder Abweichungen von nur 0,1-0,3 Vol% des Einstellbereichs festgestellt wurden. In dem weiteren Versuchsablauf erfolgte die Eichung zwischen den Versuchsdurchgängen und in unregelmäßigen Abständen zur Kontrolle während eines Versuchsdurchgangs, die Abweichungen des Einstellbereiches waren aber jeweils unerheblich. Neben der ordnungsgemäßen Funktion der physikalischen Meßgeräte sind die peripheren Einrichtungen einer Respirationsanlage, wie die Atemmaske und die gasführenden Leitungen, ebenfalls von Bedeutung für die Erzielung unverfälschter Meßergebnisse. In der verwendeten Anlage ergaben sich in der ersten Versuchsphase Schwierigkeiten durch erhebliche Ansammlung von Kondensat in dem Rohrleitungssystem. Dies trat vor allem in der Belastungs-

phase in Erscheinung, da die Exspirationsluft eine temperaturbedingte höhere absolute Wassermenge enthielt. Daher ist es erforderlich, bei der Benutzung ähnlicher Respirationsanlagen zur Bestimmung des Gaswechsels bei Rindern eine Kühlfalle in das System zu integrieren, wie es in der Abbildung 2 auf Seite 27 dargestellt ist. Die Tiefkühltruhe mit einem Fassungsvermögen von 250 Litern reichte aus, um eine weitere Kondensatbildung in dem Leitungssystem zu verhindern. An einem Meßtag sammelte sich bis zu etwa 1 Liter Flüssigkeit in der Tiefkühltruhe an. Gleichzeitig bewirkte der Kühlraum eine gleichmäßige Verteilung der Exspirationsluft in dem zur Analyse bestimmten Mischgas. Diese Funktion erfüllte ebenfalls der in Abbildung 2 auf Seite 27 dargestellte Ausgleichsbehälter mit einem Fassungsvermögen von 168 Litern. Fehlende Gassammelräume bewirken periodische Schwankungen der O_2-Konzentration synchron zur Atmung (GEBREMEDHIN et al., 1981). Zur Kontrolle, ob die Kühltruhe das Meßergebnis beeinflußt, wurde bei einzelnen Tieren der Sauerstoffverbrauch nach Durchfluß des Meßgases durch die Kühltruhe und nach Umgehung der Kühltruhe verglichen. Der Meßwert blieb in beiden Fällen gleich.

Neben der Funktion eines Gassammelraumes bot der Ausgleichsbehälter einen weiteren Vorteil in der Möglichkeit, den vorliegenden Unterdruck in dem System zu beobachten, da die Wände aus einem elastischen Kunststoffgewebe bestanden und sich entsprechend den Druckverhältnissen wölbten. Ein zu geringer Luftdurchsatz füllte den Ausgleichsbehälter durch die Exspirationsluft vom Versuchstier. Der Luftdurchsatz wurde so eingestellt, daß eine deutliche Wölbung der Wände nach innen eintrat, und der Atemvorgang des Tieres anhand leichter Bewegungen zu erkennen war. Die ermittelten und angewendeten Luftdurchsätze von 150 l/min bei der Kammertemperatur von 15°C und 200 l/min bei 30°C stehen in Übereinstimmung zu den Atemminutenvolumina der Tiere. Bei einem angenommenen Atemzugvolumen von 3,8 l ergibt sich in der ersten

Versuchsphase (15°C) bei einer durchschnittlichen Atemfrequenz während der Messung von 30 Zügen pro Minute ein Atemminutenvolumen von 114 l. In der Belastungsphase erhöht sich das durchschnittliche Atemminutenvolumen auf 171 l. Der um 30-40 Liter höhere Luftdurchsatz gewährleistet den erforderlichen Unterdruck in dem System, damit keine Atemluft entweicht.

Die Herzfrequenz erhöhte sich im Mittel während der O_2-Messung um 1-3 Schläge/min. Als stoffwechselbezogene Größe wird dadurch angedeutet, daß die Umsatzrate durch die Meßmanipulation ansteigt. Bei Zugrundelegung der Befunde von FUKUHARA et al. (1983) würde dies einen Anstieg der Gesamtumsatzrate von 1,6-4,8% bedeuten. Die Autoren stellten für sechs laktierende HF-Kühe Regressionsgleichungen zwischen der Herzfrequenz und dem Sauerstoffverbrauch auf. Sie ermittelten eine Zunahme der O_2-Aufnahme um durchschnittlich 0,09 ml/kgKG x min bei einer Erhöhung der Herzfrequenz um einen Schlag in vergleichbaren Frequenzbereichen. Der durch die Änderung der Herzfrequenz vermutete Anstieg der Umsatzrate liegt innerhalb der bei der Aufzeichnung der O_2-Aufnahme tolerierten Schwankungsbreite von $\pm$ 0,25 g O_2 pro Tier in der Minute, dies entspricht bezogen auf ein Kilogramm Körpergewicht 0,34 ml O_2. Somit wurde der methodische Fehler durch die Herzfrequenzänderung nicht erhöht.

Bei der Atemfrequenz wurde während der Messung eine auffallende Depression verzeichnet (Abb.6 und 7), die unabhängig von der Position der Tiere in beiden Temperaturbereichen auftrat. Eine Reduzierung der Atemfrequenz unter der Maske wird auch in anderen experimentellen Arbeiten erwähnt, allerdings fehlen in der Literatur genaue Angaben über den Grad der Atmungsänderung. In dem durchgeführten Versuch wurde beobachtet, daß die Tiere nach Anlegen der Maske ihren Atemtyp änderten. Bei freier Atmung wiesen die Tiere eine mehr adbominale Atmung auf, die sich unter der Maske zu einer konzentrierten, betont kostalen Atmung mit niederer

Frequenz und größerer Atemtiefe änderte. Die Änderung des Atemtyps wird verursacht durch den Widerstand und die Trägheit der Atemventile, sowie durch die Einschränkung der Maulatmung durch die eng anliegende Atemmaske. Ein Hecheln war den Tieren unter der Maske nicht möglich. Dies ist die Ursache der erheblichen Reduzierung der Atemfrequenz in der Belastungsphase, in der die Kühe bei freier Atmung Hechelfrequenzen von bis zu 130 Zügen pro Minute aufwiesen. Unter der Maske wurden maximale Werte von bis zu 70 Atemzügen pro Minute gemessen.

Ob die Reduzierung der Atemfrequenz einen Einfluß auf den Gesamtumsatz ausübt und über dessen Höhe konnten in der vorliegenden Untersuchung keine Aussagen getroffen werden. Auch ist es nicht möglich, anhand von Literaturangaben diesen Anteil zu schätzen, da nach Angaben von HALES (1969) keine linearen Beziehungen zwischen der Atemfrequenz und der Sauerstoffaufnahme bestehen. TAYLOR et al. (1969) erwähnen eine lineare Abnahme der O_2-Aufnahme beim Anstieg der Atemfrequenz. Allerdings reichen die in den Untersuchungen eingesetzten Tierzahlen und Meßfrequenzen nicht aus, um allgemeingültige Aussagen zu machen.

Die Reduzierung der Atemfrequenz unter der Maske beträgt in der vorliegenden Untersuchung bis zu 50% im Vergleich zu den Ausgangswerten bei freier Atmung. Diese erhebliche Einschränkung kann nicht zu hypoxischen Zuständen führen, da eine ausreichende alveoläre Atmung gewährleistet war. Dies zeigte sich auch in dem stets ruhigen Verhalten der Versuchstiere, auch bei Meßzeiten bis zu einer Stunde. Durch den Ausfall des Hechelns (Wärmetachypnoe) bei Maskenatmung wurde der Kühleffekt der respiratorischen Evaporation eingeschränkt. Ob das Defizit an physikalischer Regelung durch eine kurzfristige, intensive chemische Regelung (Reduktion der Oxidation) kompensiert wurde, ließ sich in dieser Untersuchung nicht bestimmen.

Die Atemtyp- und Atemfrequenzänderung wird durch die

Atemmaske verursacht. Aufgrund der Erfahrung mit der Maske wurde eine Atemmaske aus Glasfasergewebe hergestellt, die stoßfest aber nicht zu schwer ist und sich der Form des Kuhkopfes gut anpaßt. Als Besonderheit steht dem Tier vor dem Flotzmaul ein Atemraum zur Verfügung, ähnlich einem ventilierten Kopfkäfig (Abb.13). In die Wandungen der Maske sind vier Atemventile eingearbeitet. Ein luftdichter Abschluß der Maske wird durch zwei Gummidichtungen gewährleistet, wobei die obere Dichtung aus einem im Durchmesser verkleinerten Fahrradschlauch besteht. Durch das nach außen gerichtete Schlauchventil ist es möglich, nach Aufsetzen der Maske die Dichtung der jeweiligen Kopfform anzupassen. In den ersten Anwendungen erfüllte die neu konstruierte Maske nicht die Erwartungen, da sich Atemtyp und Atemfrequenz weiterhin änderten. Exakte Vergleichsmessungen unter einer Temperaturbelastung stehen noch aus. In Bezug auf die Anwendung von Atemmasken bei Respirationsversuchen an Rindern kann in Übereinstimmung zu den Literaturangaben gefolgert werden, daß in jedem Fall die Atmung durch die Maske beeinflußt wird. Es wäre vorteilhafter Respirationskammern zu verwenden, die aber als Nachteil höhere Anforderungen an die technische Einrichtung stellen.

Die durch die Beeinflussung der Atmung eventuell auftretende Änderung der zu bestimmenden Atemgröße wird zu den Meßfehlern addiert. Über die Höhe des Meßfehlers in der vorliegenden Untersuchung können keine absoluten Angaben gemacht werden. Beim Vergleich der ermittelten durchschnittlichen O_2-Aufnahme der Versuchstiere mit den Literaturangaben, zeigen sich bei vergleichbarem Tiermaterial gute Annäherungen. Der gemessene Grad der Reduzierung der O_2-Aufnahme beim liegenden Tier (ca. 6-13%) stimmt ebenfalls mit den Literaturangaben überein.

Über die Schwankungen der Sauerstoffaufnahme zu verschiedenen Meßzeiten an den Tagen und zwischen den Versuchstagen finden sich in der Literatur wenig Angaben, da größtenteils

die Durchschnittswerte mehrerer Msungen angegeben werden. Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, diese Schwankungen darzustellen und die Ursachen zu diskutieren (Kapitel 4.2).

Neben den störungs- und fehlerfrei arbeitenden technischen Einrichtungen werden auch an die versuchsdurchführenden Personen Anforderungen gestellt, die einen standardisierten Versuchsablauf gewährleisten. Zusammengefaßt werden folgende Empfehlungen für die Planung und Durchführung von Respirationsversuchen an Rindern ausgesprochen:

- Eine Respirationskammer oder ein ventilierter Kopfkäfig bieten wesentliche Vorteile gegenüber Atemmasken.
- Falls die technische Einrichtung eine Anwendung von Atemmasken erfordert, sollten diese eine ähnliche Form haben wie in Abbildung 13 dargestellt.
- Bei der Verwendung von Atemmasken ist eine Gewöhnungsphase vor Versuchsbeginn vorzunehmen, bis die Tiere ein ruhiges Verhalten während der Messung zeigen. Dies kann durch die Herzfrequenz kontrolliert werden.
- Es wird eine Meßzeit von 10 Minuten empfohlen, wobei die Position (stehen - liegen) des Tieres zu berücksichtigen ist.
- Die Messungen sollten von einem Experimentator durchgeführt werden, um die Tiere nicht durch ständig wechselnde Personen zu beunruhigen.
- Es erscheint vorteilhafter, an einem kleinen Tiermaterial mit täglichen Wiederholungen möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten, als einmalige Messungen an großen Tierzahlen vorzunehmen.

Abb. 12: Tier während der Messung mit herkömmlicher Atemmaske

Abb. 13: Die neu konstruierte Atemmaske

4.2 Einfluß der Wärmebelastung auf die erhobenen Merkmale

4.2.1 Rektaltemperatur

In den vier Versuchsdurchgängen verlief die Rektaltemperatur im ersten Versuchsabschnitt, bei einer Kammertemperatur von 15°C, in dem physiologischen Bereich zwischen 38°-39°C. In der anschließenden Belastungsphase, bei einer Kammertemperatur von 30°C, stieg die Rektaltemperatur in den folgenden 3-4 Tagen steil an und stabilisierte sich in dem hyperthermen Bereich zwischen 39,5°-40,5°C (Abb.14). Somit wurde durch die vorgegebene Kammertemperatur die Voraussetzung zur Beantwortung der Fragestellung II erfüllt, da die Tiere in der ersten Meßperiode (4.-10. Versuchstag) normotherm und in der zweiten Meßperiode (14.-20. Versuchstag) hypertherm waren.

Auf die Darstellung der Tageswerte der Einzeltiere wurde verzichtet, da die Mittelwerte der Abb.14 nur geringe Standardabweichungen von 0,07-0,49 aufweisen. Die oberste Grenze der physiologischen Körpertemperatur des Rindes von 39°C wurde in der ersten Meßperiode von keinem Tier über- und in der zweiten Meßperiode von keinem Tier unterschritten.

Die Rektaltemperatur nimmt in den vier Versuchsdurchgängen einen ähnlichen Verlauf. Auffallend ist, daß die Tiere nach Abschluß der Laktation im Versuchsdurchgang 4 unter der Wärmebelastung eine deutlich geringere Rektaltemperatur aufwiesen als in den Versuchsdurchgängen mit Laktationsleistung. Als Ursache ist die durch den erhöhten Leistungsumsatz bedingte Steigerung der metabolischen Wärmebildung der Tiere zu nennen.

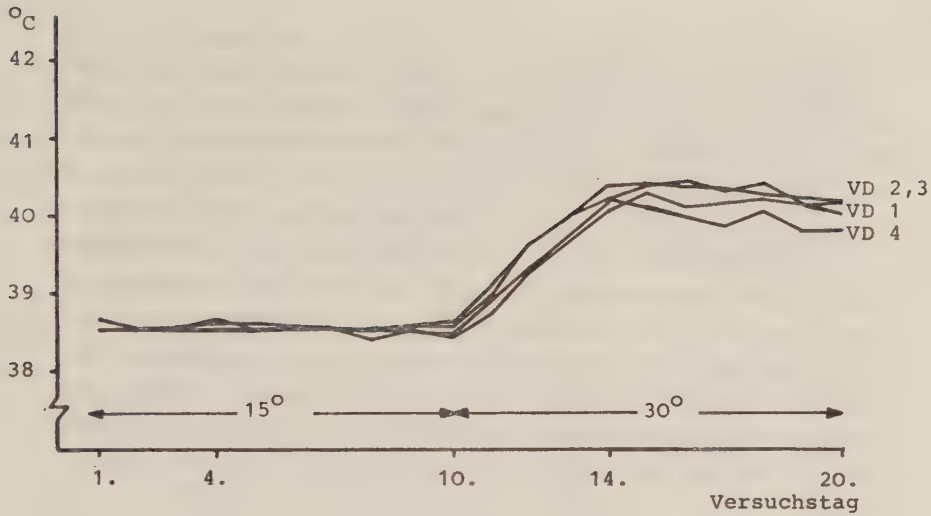

Abb. 14: Verlauf der Rektaltemperatur der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

Tabelle 10: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Rektaltemperatur"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	*** 252,3	*** 167,9	*** 330,9	*** 96,0
Tiere	7	*** 15,9	*** 18,9	*** 22,8	*** 24,6
Behandl. x Tiere	7	*** 8,2	*** 18,7	*** 19,4	*** 29,2
MQ_{Rest}	96	0,03	0,02	0,01	0,02

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (Tab.10) bestätigen den Anstieg der Rektaltemperatur als signifikant in allen vier Versuchsdurchgängen, wobei wesentliche Unterschiede zwischen den Tieren vorlagen. Interessant ist die signifikante Interaktion, wodurch angedeutet wird, daß die Einzeltiere nicht in gleicher Weise auf die Temperaturbelastung reagierten.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die vorgegebene Temperaturbelastung von 30°C bei 50% rel. Luftfeuchte eine Erhöhung der Rektaltemperatur in den hyperthermen Bereich von über 39°C zur Folge hatte. In den Versuchsdurchgängen mit Laktationsleistung wiesen die Tiere unter der Temperaturbelastung eine deutlich höhere Rektaltemperatur auf als in dem Versuchsdurchgang nach Abschluß der Laktation.

4.2.2 Sauerstoffverbrauch

Aus den Abbildungen 10 und 11 wird ersichtlich, daß sich die O_2-Aufnahme bei den Einzeltieren unter der Wärmebelastung reduzierte. Um einen besseren Vergleich zwischen den Versuchsdurchgängen vornehmen zu können, wurde in der Abbildung 15 die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme in ml bezogen auf kg Körpergewicht (KG) in der Minute in den einzelnen Meßperioden aufgetragen. Das Mittel der Körpergewichte vor und nach einer Meßperiode wurde als die jeweilige Bezugsgröße genommen.

Obwohl die Tiere hypertherm waren, reduzierte sich die Sauerstoffaufnahme unter der Wärmebelastung in allen vier Versuchsdurchgängen gegenüber der O_2-Aufnahme im ersten Versuchsabschnitt bei einer Kammertemperatur von 15°C. Der Rückgang ist in den einzelnen Versuchsdurchgängen unterschiedlich und reicht von 8% (VD2) bis 23% (VD1). Die Unterschiede der O_2-Aufnahme im ersten Versuchsabschnitt (15°C) sind zwischen den Versuchsdurchgängen geringer als bei den

unter Wärmebelastung gemessenen Durchschnittswerten. Auffallend ist der unter mäßigen Kammertemperaturen erhobene Wert im vierten Versuchsdurchgang, der um etwa 12% unter den korrespondierenden Durchschnittswerten der anderen Versuchsdurchgänge liegt. Die Sauerstoffaufnahme unter der Temperaturbelastung weist im vierten Versuchsdurchgang ebenfalls den geringsten Wert auf.

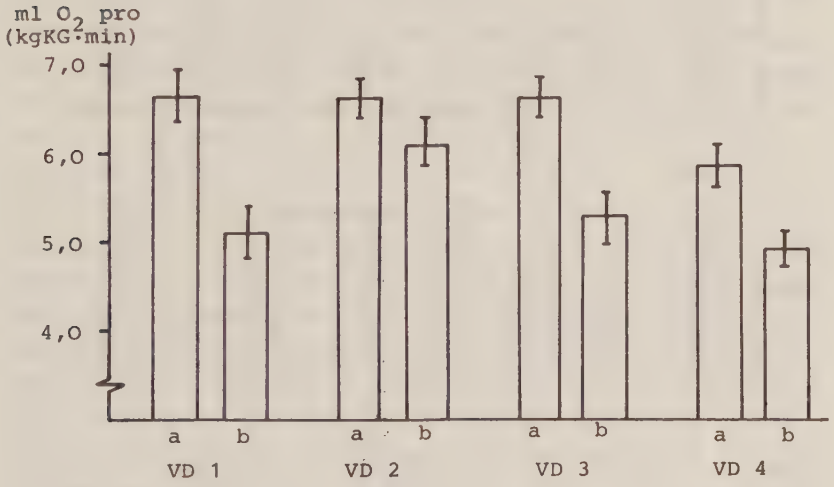

Abb. 15: Gegenüberstellung des Sauerstoffverbrauchs bei Kammertemperaturen von 15°C (a) und 30°C (b). Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen der vier Versuchsdurchgänge am stehenden Tier erhoben.
VD - Versuchsdurchgang

Aus der Abbildung 16 sind die Durchschnittswerte der Sauerstoffaufnahme in den vier Versuchsdurchgängen für die Einzeltiere zu entnehmen. Die O_2-Aufnhame reduziert sich bei allen Tieren unter der Wärmebelastung. Eine Ausnahme bildet

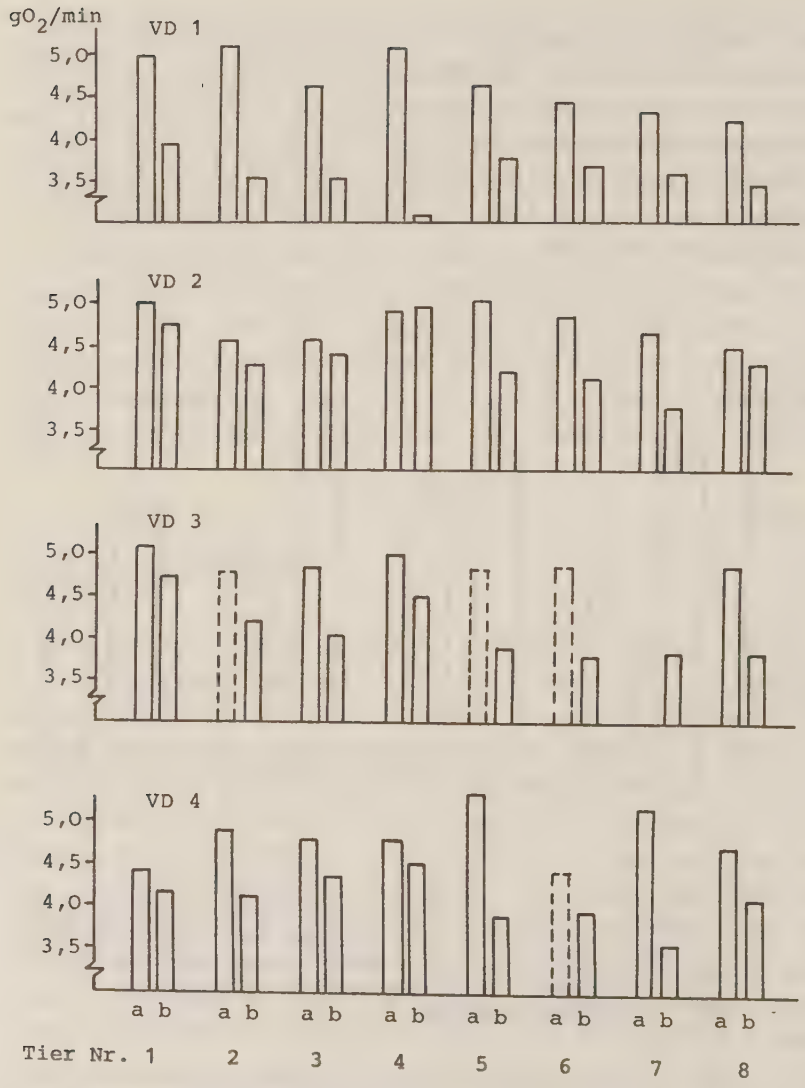

Abb. 16: Gegenüberstellung der Sauerstoffaufname bei Kammertemperaturen von 15°C (a) und 30°C (b).
Mittelwerte der Einzeltiere in den vier Versuchsgängen (Werte der liegenden Tiere sind gestrichelt dargestellt)
VD - Versuchsdurchgang

Tier Nr. 4 im zweiten Versuchsdurchgang. Dieser Befund steht im Gegensatz zum ersten Versuchsdurchgang, in dem Tier Nr. 4 die absolut größte wärmebedingte Reduzierung aufweist, die für die auffallende Gesamtreduktion des ersten Versuchsdurchganges mitverantwortlich ist. Als mögliche Ursache ist die in Kapitel 4.1.1 beschriebene methodische Unsicherheit am Anfang des Versuchs zu erwähnen.

Für die im zweiten Versuchsdurchgang auftretende geringe Reduzierung der Sauerstoffaufnahme in der Belastungsphase sind jahreszeitliche Einflüsse nicht auszuschließen. Dieser Versuchsdruchgang wurde in den Sommermonaten durchgeführt. Der Durchschnitt der Tagesmitteltemperaturen betrug in dieser Zeit 19,5°C (Minimaltemperatur 15,6°C; Maximaltemperatur 26,2°C). Obwohl die Tiere zwischen den Versuchsdurchgängen in einem gekühlten Anbindestall untergebracht wurden, war es durch die hohen Außentemperaturen nicht möglich, die Stalltemperatur auf den Sollwert von 18°C zu halten. Es wurden Maximaltemperaturen von bis zu 21°C im Stall erreicht, die neben der längeren Sonnenscheindauer eine Beeinflussung der Thermoregulationsmechanismen bewirkt haben könnte. Diese Vermutung wird bekräftigt durch das Ergebnis der Varianzanalyse (Tab.11), die den temperaturbedingten Abfall der O_2-Aufnahme im zweiten Versuchsdurchgang nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% absichert. Durch die nur schwach signifikante Interaktion wird angedeutet, daß die Tiere in diesem Versuchsdurchgang ihre Sauerstoffaufnahme in ähnlicher Weise verminderten oder aufrechterhielten.

In dem 4. Versuchsdurchgang ist der Abfall der O_2-Aufnahme ebenfalls nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% absicherbar. Da dieser Versuchsdurchgang nach Abschluß der Laktation stattfand, kann dieses Ergebnis in Zusammenhang mit dem verminderten Leistungsumsatz gebracht werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die vorgegebene Temperaturbelastung von 30°C und 50% rel. Luftfeuchte eine Reduzierung der Sauerstoffaufnahme gegenüber den gemessenen

Ausgangswerten bei Kammertemperaturen von 15°C und 70% rel. Luftfeuchte bewirkte. Bezogen auf Kilogramm Körpergewicht wiesen die laktierenden Tiere unter gemäßigten Temperaturbedingungen einen etwa gleichbleibenden Sauerstoffverbrauch auf. Nach Abschluß der Laktation vermindert sich die durchschnittliche O_2-Aufnahme um 12%. Die wärmebedingte Reduktion ist unterschiedlich und beträgt für die Einzeltiere zwischen 6% bis 39%.

Tabelle 11: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Sauerstoffaufnahme"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	** 40,8	* 9,3	** 30,8	* 20,0
Tiere	7	*** 5,9	*** 9,3	*** 9,7	** 4,0
Behandl. x Tiere	7	*** 9,2	* 2,9	*** 15,7	*** 7,0
MQ_{Rest}	96	0,09	0,10	0,06	0,09

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

4.2.3 Milchleistung

Die Tiere wurden während der Laktation dreimal der gleichen Behandlung unterworfen. Am Anfang des VD1 befanden sich die Tiere in der 10.Laktationswoche, die folgenden Versuchsdurchgänge fanden ab der 21. und 40. Laktationswoche statt. Aus der Abbildung 17 werden die laktationsstadien mit ihren unterschiedlichen Leistungshöhen deutlich. Nach einer

gleichbleibenden Tagesdurchschnittsleistung in dem ersten Versuchsabschnitt (15°C) reduzierte sich die Milchleistung ab dem dritten Tag nach Einsetzen der Wärmebelastung. Während sich der Leistungsabfall im ersten Versuchsdurchgang kontinuierlich fortsetzte, erschien der Abfall im VD2 und VD3 ab dem 15. bzw. 16. Versuchstag beendet.

Mit Ausnahme des ersten Versuchsdurchganges ist eine Übereinstimmung zwischen der Reduktion der Milchleistung in der Wärme und der O_2-Aufnahme erkennbar. Der Rückgang der Milchleistung im VD2 um 14% ging einher mit einer Abnahme des Sauerstoffverbrauchs um 8%, und in dem dritten Versuchsdurchgang ging die Milchleistung um 24% und die O_2-Aufnahme um 20% zurück.

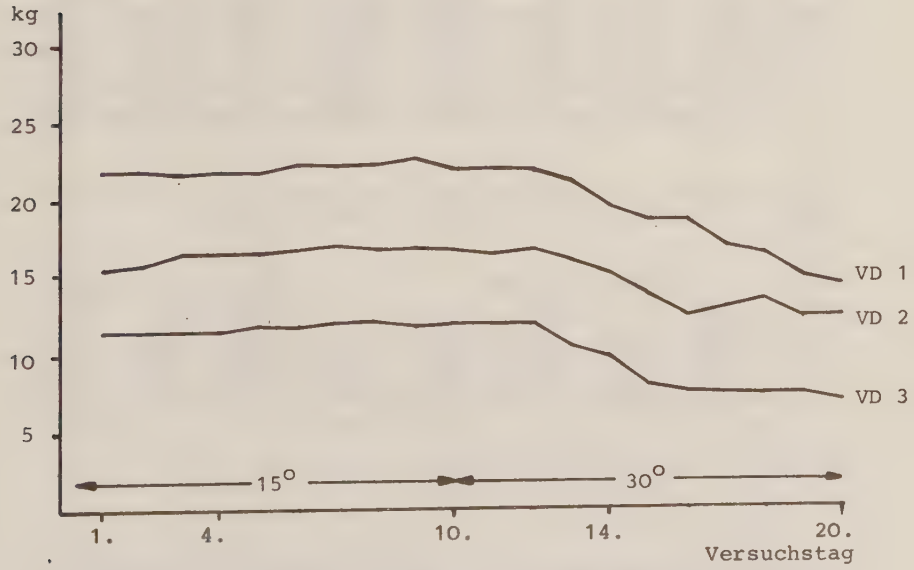

Abb. 17: Verlauf der Milchleistung der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

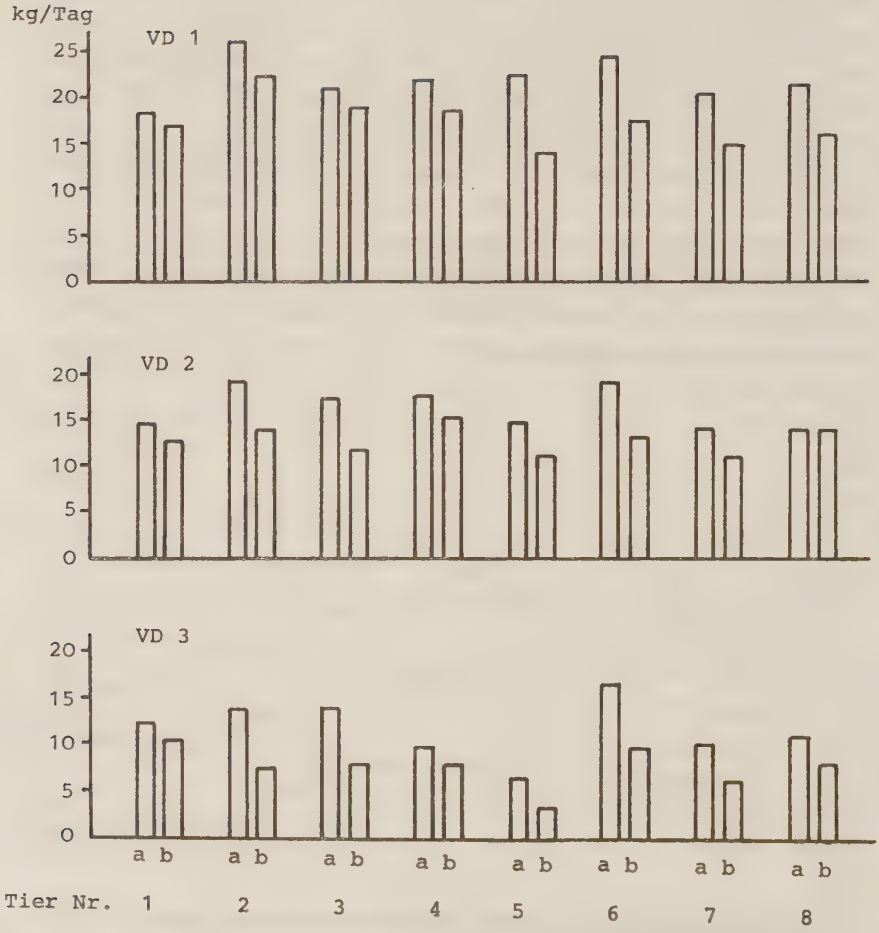

Abb. 18: Gegenüberstellung der Milchleistung bei Kammertemperaturen von 15°C (a) und 30°C (b).
Mittelwerte der Einzeltiere in den drei Versuchsdurchgängen
VD - Versuchsdurchgang

Die Abnahme der Milchleistung in der Belastungsphase bestand bei jedem Einzeltier (Abb.18). Eine Ausnahme bildete Kuh Nr. 8 im zweiten Versuchsdurchgang, deren durchschnittliche Milchleistung in beiden Temperaturbereichen unverändert blieb. Bei dem Vergleich der Abbildung 16 mit der Abbildung 18 wird außer im VD1 eine grobe Übereinstimmung zwischen dem Grad der Reduktion der Milchleistung und der Sauerstoffaufnahme deutlich. Der Zusammenhang dieser beiden Merkmale wird ebenfalls durch den über das Gesamtmaterial errechneten phänotypischen Korrelationskoeffizienten von 0,47 bekräftigt (siehe Kapitel 4.2.9).

Ähnlich der Sauerstoffaufnahme ist die Reduzierung der Milchleistung im zweiten Versuchsdurchgang nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% absicherbar (Tab.12). Die individuelle Variation für das Merkmal Milchleistung verursacht die signifikanten Unterschiede zwischen den Tieren in jedem Laktationsabschnitt, wobei sich die Temperaturbelastung unterschiedlich auf die Einzeltiere auswirkt.

Tabelle 12: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Milchmenge"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	42,4 **	21,3 *	35,9 **	nach Abschluß der Laktation
Tiere	7	24,9 ***	37,6 ***	119,6 ***	
Behandl. x Tiere	7	5,4 ***	17,2 ***	16,7 ***	
MQ_{Rest}	96	2,89	0,90	0,77	

*** $P \leq 0,001$ ** $P \leq 0,01$ * $P \leq 0,05$

Die Milchinhaltsstoffe wurden in den Meßperioden zweimal pro Tier erhoben. Aus den zusammengefaßten Durchschnittswerten der Tabelle 13 ist zu ersehen, daß der Eiweißgehalt der Milch unter der Wärmebelastung um bis zu 10% abnahm. Der Fettgehalt zeigte nur im VD1 eine Reduzierung. In der Mitte und gegen Ende der Laktation bewirkte die Wärmebelastung eine Konzentrierung des Milchfettgehaltes um 0,3-0,5%.

Tabelle 13: Gruppenmittelwerte der Milchinhaltsstoffe in den einzelnen Versuchsdurchgängen

		VD 1	VD 2	VD 3
% Eiweiß	15°	3,3	3,3	3,9
	30°	3,0	3,2	3,5
% Fett	15°	3,6	3,8	4,3
	30°	3,4	4,1	4,8

4.2.4 Herzfrequenz

Die in der Abbildung 19 dargestellten Tagesmittelwerte der Herzfrequenz ergaben sich aus 32 Einzelmessungen. Der für laktierende Kühe angegebene physiologische Bereich von 55-80 Herzschlägen/min (SPÖRRI, 1976) wurde in dem ersten Versuchsabschnitt, bei einer Kammertemperatur von 15°C, größtenteils überschritten. Dabei wiesen die durchschnittlichen Herzfrequenzen in dem ersten Versuchsdurchgang die absolut höchsten Werte auf.

Neben einer durch die Versuchsbedingungen hervorgerufenen nervösen Tachykardie ist das Laktationsstadium ebenfalls für die hohen Herzfrequenzen verantwortlich. PASCHKE (1982) und KLEIN (1984) stellten an einem vergleichbaren Tiermaterial in Klimastallversuchen durchschnittliche Herzfrequenzen von

über 80 Schlägen/min bis zur 4. und 6. Laktationswoche fest. In den folgenden Versuchsdurchgängen ist keine deutliche Trennung zwischen Laktationsstadium und Herzfrequenz erkennbar. Nach Einsetzen der Wärmebelastung (10. Versuchstag) stieg die durchschnittliche Herzfrequenz am nächsten Tag um 2-11 Schläge/min an. In allen Versuchsdurchgängen wurde am 11. Versuchstag der Maximalwert erreicht. An den folgenden Versuchstagen wurde eine stete Reduzierung der Herzfrequenz beobachtet, so daß bei Einsetzen der 2. Meßperiode (30°C) am 14. Versuchstag Herzfrequenzen vorgefunden wurden, die bereits unter dem Mittel der ersten Meßperiode lagen. Eine Ausnahme bildete der zweite Versuchsdurchgang, wo die mitt-

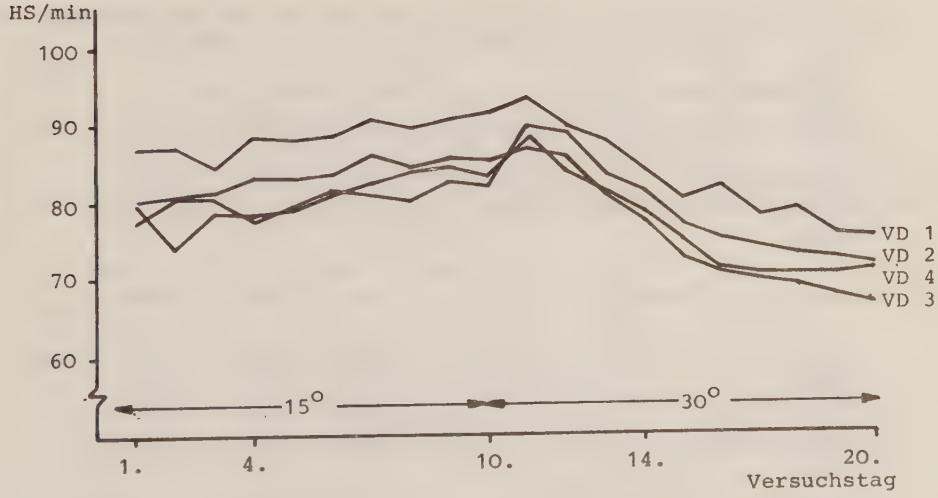

Abb. 19: Verlauf der Herzfrequenz der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

lere Herzfrequenz der vorangegangenen Meßperiode erst am 15. Versuchstag unterschritten wurde. Dies wurde verursacht durch das abweichende Verhalten von Kuh Nr. 4, die im Gegensatz zu den anderen Versuchstieren eine mittlere Erhöhung der Herzfrequenz um 0,7 Schläge/min in der Belastungsphase aufwies. Bei der O_2-Aufnahme nahm Tier Nr. 4 im zweiten Versuchsdurchgang eine ähnliche Sonderstellung ein, indem sich die Sauerstoffaufnahme in der Belastungsphase im Mittel um 0,63 g/min erhöhte.

Mit Ausnahme von Tier Nr. 4 reduzierte sich die Herzfrequenz der Einzeltiere unter der Wärmebelastung in allen Versuchsdurchgängen (Abb.23). Eventuelle Übereinstimmungen zur Reduktion der Sauerstoffaufnahme und der Milchleistung werden durch die Korrelationskoeffizienten aus der Tabelle 22 ersichtlich.

Tabelle 14: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Herzfrequenz"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang 1	2	3	4
Behandlung	1	** 35,5	5,3	* 26,5	* 17,3
Tiere	7	*** 24,2	*** 29,9	*** 25,6	*** 24,9
Behandl. x Tiere	7	*** 6,1	*** 14,4	*** 16,0	*** 10,0
MQ_{Rest}	96	13,94	11,99	12,96	14,02

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

Aus der Darstellung der varianzanalytischen Ergebnisse (Tab.14) geht hervor, daß eine eindeutige Beeinflussung der

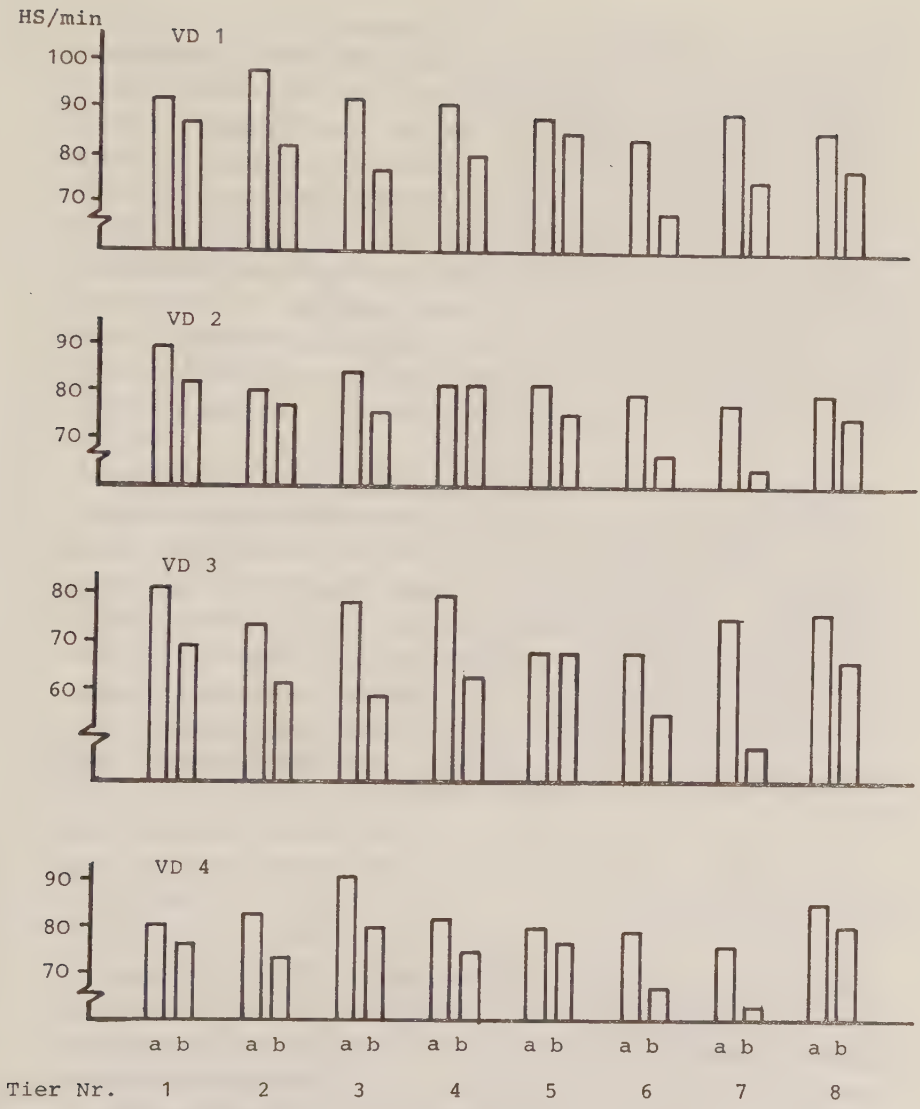

Abb. 20: Gegenüberstellung der Herzfrequenz bei Kammertemperaturen von 15°C (a) und 30°C (b).
Mittelwerte der Einzeltiere in den vier Versuchsdurchgängen
VD- Versuchsdurchgang

Temperaturbelastung auf die Herzfrequenz nicht in jedem Laktationsabschnitt bestand. Die bereits für die O_2-Aufnahme und Milchmenge beschriebene Sonderstellung des zweiten Versuchsdurchganges gilt ebenfalls für die Herzfrequenz, in dem kein signifikanter Einfluß der Temperaturbelastung auf die Herzfrequenz nachgewiesen werden kann. In dem Versuchsdurchgang am Anfang der Laktation läßt sich die Reduktion der Herzfrequenz mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% absichern, die sich gegen Ende und nach Abschluß der Laktation auf 5% erhöht. In dem gesamten Versuchszeitraum bestand eine etwa gleichbleibende, hochsignifikante Varianz zwischen den Tieren, die aber auf die Wärmebelastung unterschiedlich reagierten.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Temperaturbelastung von 30°C und 50% rel. Luftfeuchte zu einem initialen Anstieg der Herzfrequenz führte. Im weiteren Versuchsablauf reduzierte sich die Herzfrequenz der Tiere auf Werte, die unter dem Mittel der bei 15°C und 70% rel. Luftfeuchte gemessenen Ausgangswerten lagen. Diese Reduktion läßt sich varianzanalytisch im zweiten Versuchsdurchgang nicht absichern. Die Abnahme der Herzfrequenz bestand mit einer Ausnahme bei jedem Einzeltier und erreichte Werte bis 30%.

4.2.5 Futteraufnahme

In der Abbildung 21 ist die Aufnahme der drei Futterkomponenten Kraftfutter, Heu und Grünmehl in den einzelnen Versuchsdurchgängen dargestellt. Zwischen den mittleren Kraftfutteraufnahmen in den ersten drei Versuchsdurchgängen bestanden bei der Kammertemperatur von 15°C keine wesentlichen Unterschiede. Die Kraftfutteraufnahme der nichtlaktierenden Tiere (VD4) war erwartungsgemäß um 4-5 kg geringer. Nach Einsetzen der Tempraturbelastung erfolgte eine sofor-

tige, signifikante Reduktion der Kraftfutteraufnahme, die sich in den einzelnen Versuchsdurchgängen unterschiedlich verhielt. In den ersten beiden Versuchsdurchgängen, in denen die Tiere eine nennenswerte Laktationsleistung aufwiesen (Abb.17), war der Rückgang geringer im Vergleich zu den Versuchsdurchgängen am Ende und nach Abschluß der Laktation. Die Ursache ist in der ad libitum-Fütterung zu sehen, wodurch die Tiere unter gemäßigten Temperaturen über ihren Bedarf Kraftfutter aufnahmen und in der Belastungsphase den Kraftfutterverzehr auf den jeweiligen Bedarf reduzierten. Diese energetische Überversorgung wird ebenfalls aus der Gewichtsentwicklung deutlich (Abb.32).

Die Befürchtung, daß die Tiere bei reiner ad libitum-Fütterung die Heuaufnahme unter Wärmebelastung einstellen, traf nicht zu. Die durchschnittliche Heuaufnahme lag zwischen 5 und 10 kg. Im Gegensatz zur Kraftfutteraufnahme war eine Reduzierung der Heuaufnahme in der Belastungsphase weniger deutlich. Varianzanalytisch kann kein Einfluß der Kammertemperaturen auf die Heuaufnahme im zweiten und vierten Versuchsdurchgang nachgewiesen werden, dies wird auch aus der Verlaufsdarstellung der Abbildung 21 deutlich. Bei den nicht-laktierenden Tieren (VD4) erscheint die Heuaufnahme im Versuchsablauf unbeeinflußt, da keine signifikante Interaktion zwischen der Behandlung und den Tieren nachgewiesen werden kann.

Den Tieren wurden täglich 2 kg Luzernegrünmehl vorgelegt, die nur in Einzelfällen vollständig verzehrt wurden. Die Temperaturbelastung führte zu einer leichten Reduzierung, die varianzanalytisch nicht in allen Versuchsdurchgängen absicherbar ist (Tab.17).

Aufgrund dieses Ergebnisses wurde auf die Darstellung der Grünmehlaufnahme der Einzeltiere verzichtet.

Aus den Abbildungen 22 und 23 geht hervor, daß die wärmebedingte Reduktion der Kraftfutteraufnahme absolut gesehen größer war als bei der Heuaufnahme. Mit einer Ausnahme (Tier

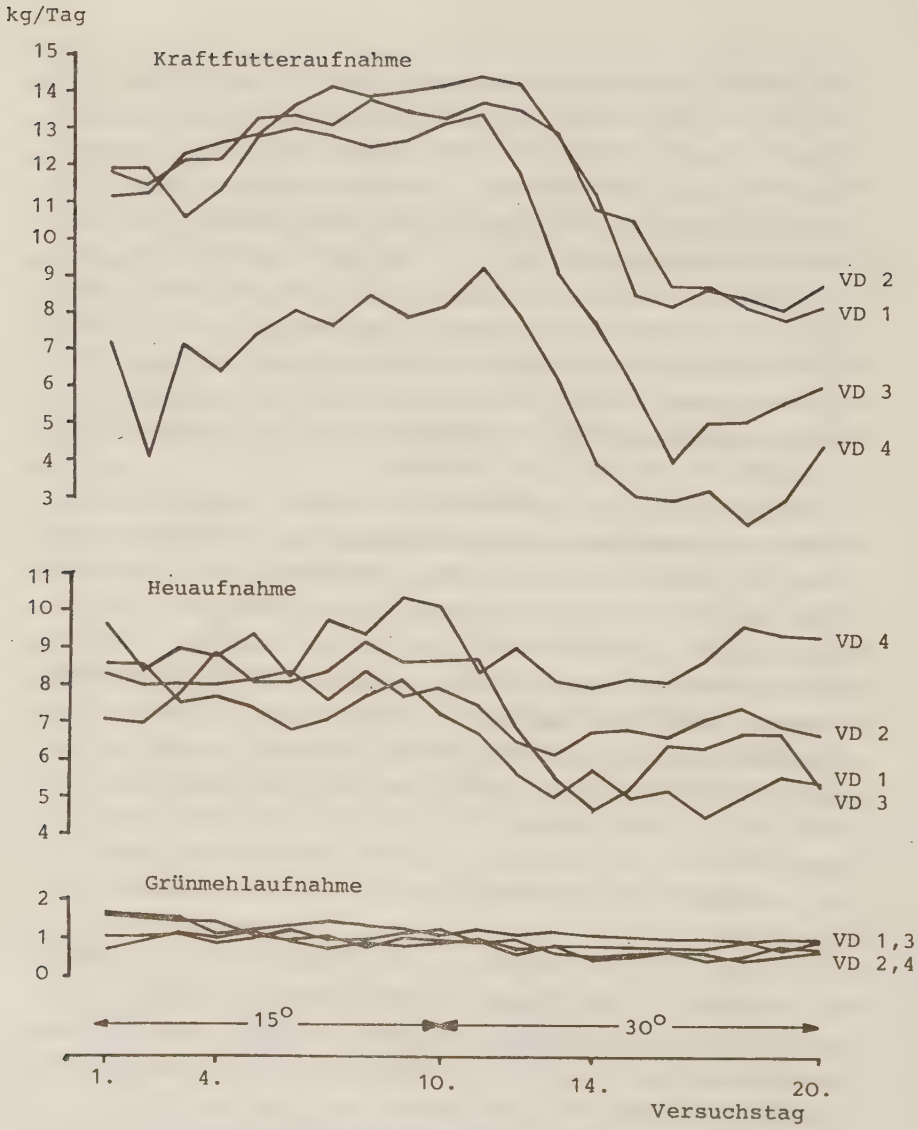

Abb. 21: Verlauf der Futteraufnahme der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

Nr. 1, VD1) führte die Temperaturbelastung stets zu einer Einschränkung der Kraftfutteraufnahme. Dagegen wiesen einige Tiere in beiden Versuchsabschnitten etwa gleichbleibende Heuaufnahmen auf. Im zweiten und vierten Versuchsdurchgang, in denen varianzanalytisch kein signifikanter Einfluß der Kammertemperatur auf den Heuverzehr nachgewiesen werden konnte, steigerte Kuh Nr. 3 ihre Heuaufnahme in der 30°C-Phase um 1-3 kg (Abb.23).

Tabelle 15: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Kraftfutteraufnahme"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	41,7 **	42,2 **	72,8 **	71,4 **
Tiere	7	6,4 ***	41,6 ***	22,4 ***	24,8 ***
Behandl. x Tiere	7	3,9 ***	11,2 ***	10,4 ***	5,9 ***
MQ_{Rest}	96	3,10	1,43	1,81	1,41

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

Tabelle 16: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Heuaufnahme"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	17,5 *	3,03	29,8 **	4,2
Tiere	7	18,6 ***	28,4 ***	4,9 **	16,5 ***
Behandl. x Tiere	7	6,5 ***	7,6 ***	3,5 *	1,9
MQ_{Rest}	96	1,15	1,35	1,79	1,47

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

Tabelle 17: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Grünmehlaufnahme"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	36,2 **	27,2 *	3,0	12,5 *
Tiere	7	51,9 ***	25,8 ***	28,6 ***	15,9 ***
Behandl. x Tiere	7	1,5 ***	2,2 *	9,2 ***	3,5 **
MQ_{Rest}	96	0,06	0,13	0,11	0,10

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

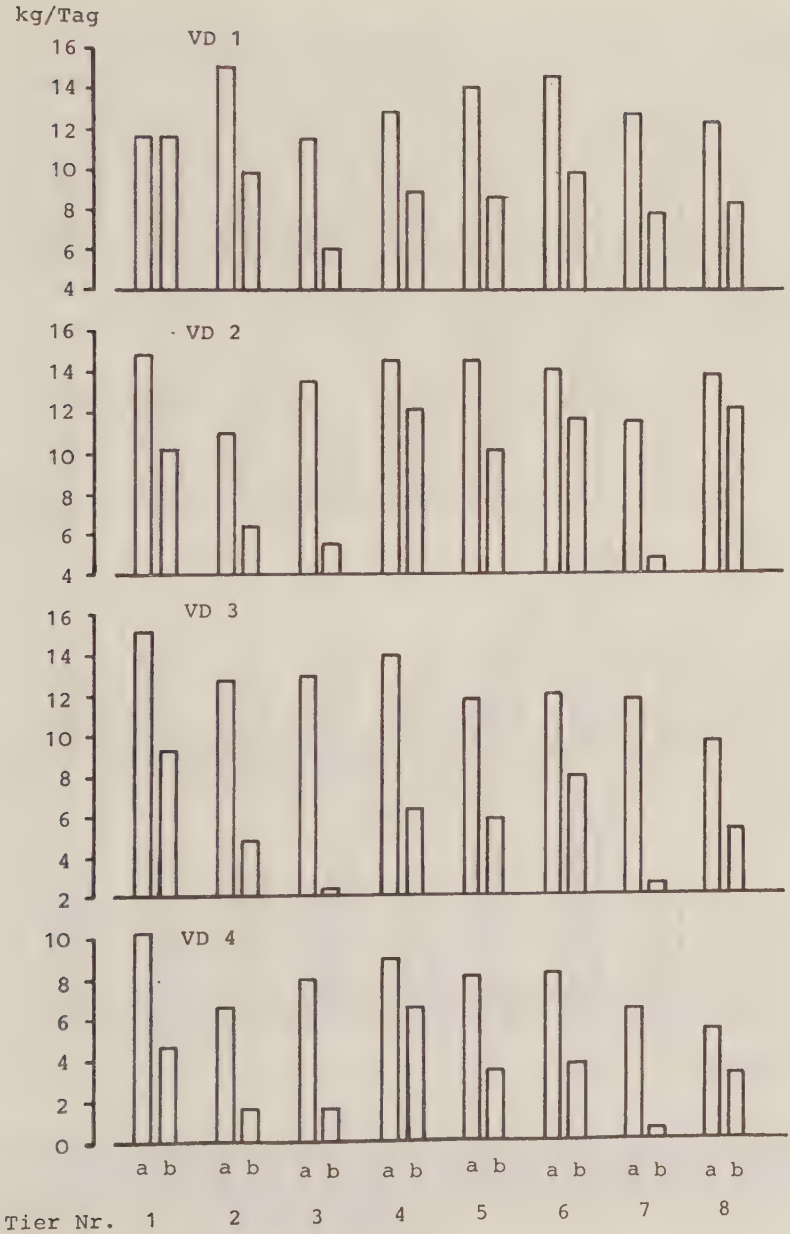

Abb. 22: Gegenüberstellung der Kraftfutteraufnahme bei Kammertemperaturen von 15°C (a) und 30°C (b). Mittelwerte der Einzeltiere in den vier Versuchsdurchgängen.
VD - Versuchsdurchgang

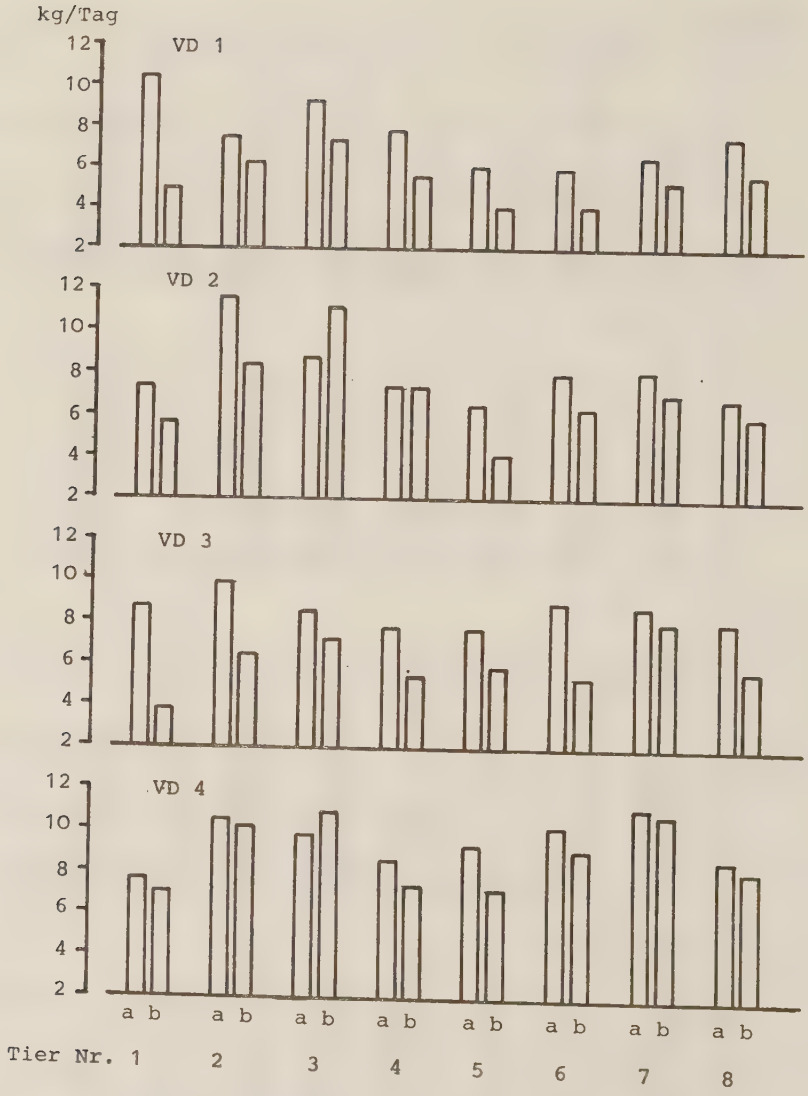

Abb. 23: Gegenüberstellung der Heuaufnahme bei Kammertemperaturen von 15° (a) und 30°C (b).
Mittelwert der Einzeltiere in den vier Versuchsdurchgängen

Da in der Literatur übereinstimmend von sinkenden Rohfasergehalten in der aufgenommenen Ration unter Wärmebelastung berichtet wird (BREIDENSTEIN et al., 1960; McDOWELL et al., 1969; COMBERG & FEDER, 1971; MIESKE, 1977; MOREAU, 1981; PASCHKE, 1982), wurde in der Abbildung 24 der Verlauf dieses Merkmals im vorliegenden Versuch grafisch dargestellt.

Eine befriedigende Erklärung der auffallenden Abweichung am 2. Versuchstag im 4. Versuchsdurchgang kann nicht gegeben werden. Vermutlich war eine besondere Schmackhaftigkeit der vorgelegten Heuration verantwortlich für die geringe Kraftfutteraufnahme (Abb.21), die bei jedem Einzeltier zu ver-

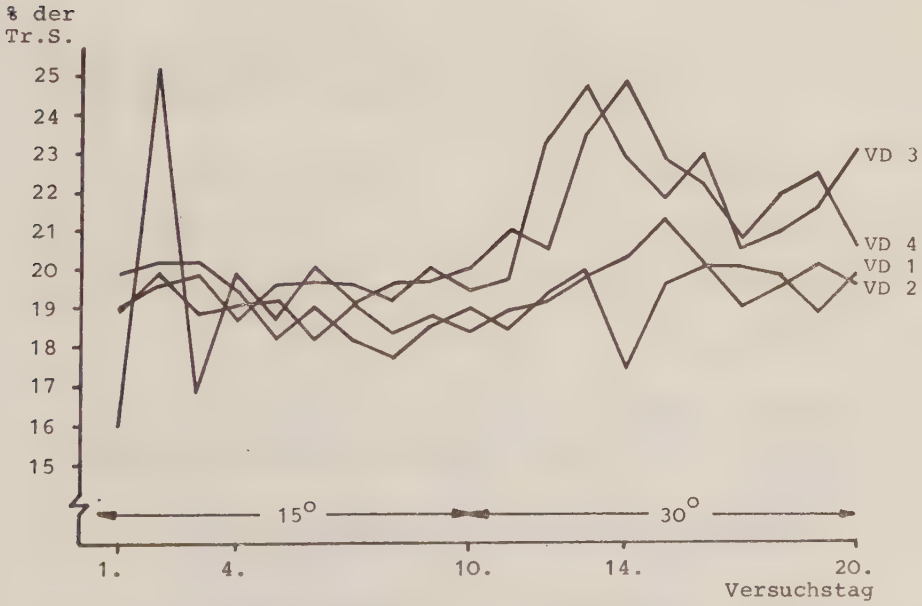

Abb. 24: Verlauf des Rohfaseranteils in % der Trockensubstanzaufnahme der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
VD - Versuchsdurchgang

zeichnen war. In der Meßperiode 1 lag der prozentuale Rohfaseranteil in einem Bereich von ca. 17,5-20,0%, der sich unter der Wärmebelastung auf 18,5-23,0% vergrößerte. Somit erhöhte sich der aufgenommene Rohfaseranteil in der Meßperiode 2 gegenüber der Meßperiode 1 um durchschnittlich 0,7% (VD1) bis 2,6% (VD3). Varianzanalytisch ließ sich diese Zunahme nicht absichern (Tab.18). Außer im VD1 sind bei diesem Merkmal keine Unterschiede zwischen den Tieren nachweisbar. Da die Interaktion ebenfalls keine deutlichen Signifikanzen aufwies, ist zu schlußfolgern, daß die Tiere in dem Merkmal der Aufnahme des prozentualen Rohfaseranteils in der Gesamtration unter den Versuchsbedingungen in gleicher Weise reagierten.

Tabelle 18: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Rohfaseranteil in % der Trockensubstanzaufnahme der Gesamtration"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	0,1	2,0	1,0	1,9
Tiere	7	5,2 ***	0,7	1,9	1,3
Behandl. x Tiere	7	2,2	0,7	2,1 *	1,2
MQ_{Rest}	96	6,49	5,78	10,85	12,00

*** $P \leq 0,001$ ** $P \leq 0,01$ * $P \leq 0,05$

Unter Zugrundelegung der in Tabelle 8 angegebenen Werte stellt die Abbildung 25 den Verlauf der aufgenommenen umsetzbaren Energie in den einzelnen Versuchsdurchgängen dar. Bei der Kammertemperatur von 15°C war eine deutliche Stufung

der Energieaufnahme entsprechend der Leistungshöhe zu verzeichnen. Im weiteren Versuchsablauf erfolgte nach Einsetzen der Temperaturbelastung eine signifikante Reduzierung der Energieaufnahme (Tab.19), wobei zwischen den Versuchsdurchgängen Überschneidungen auftraten, so daß am Versuchsende die Tiere mit hoher und mittlerer Laktation (VD1 und VD2) eine metabolische Energieaufnahme von etwa 120 MJ und die Tiere am Ende und nach Abschluß der Laktation (VD3 und VD4) eine Energieaufnahme von ca. 90-100 MJ aufwiesen.

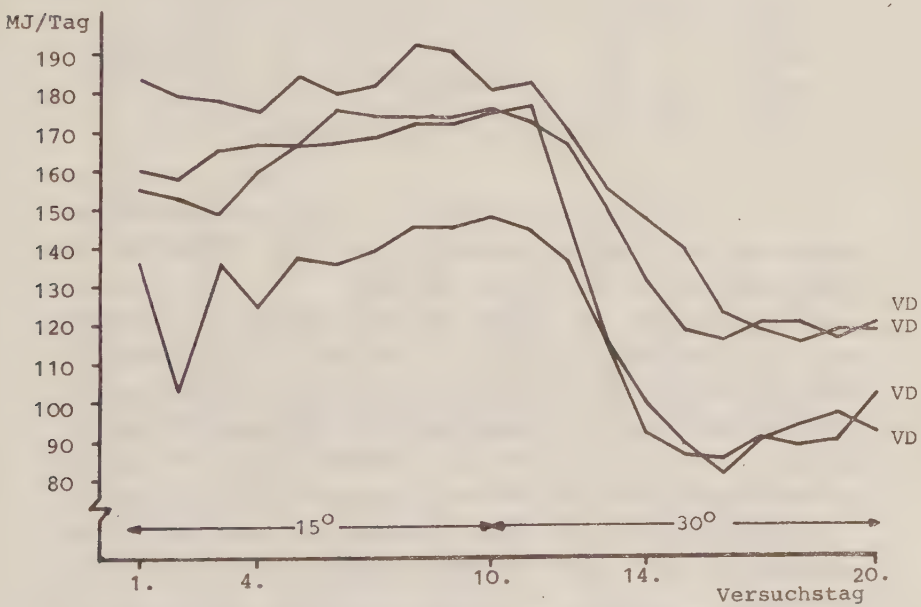

Abb. 25: Verlauf der aufgenommenen umsetzbaren Energie der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

Tabelle 19: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Gesamtenergieaufnahme"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	*** 472,2	** 66,7	*** 275,1	*** 147,6
Tiere	7	*** 11,3	*** 9,6	*** 8,1	*** 5,9
Behandl. x Tiere	7	0,7	*** 10,4	*** 5,1	* 3,4
MQ_{Rest}	96	266,39	107,30	116,22	129,94

*** $P \leq 0,001$ ** $P \leq 0,01$ * $P \leq 0,05$

Aus der Abbildung 26 geht hervor, daß eine wärmebedingte Reduzierung der Energieaufnahme bei jedem Einzeltier in allen vier Versuchsdurchgängen auftrat.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die vorgegebene Temperaturbelastung von 30°C und 50% rel. Luftfeuchte zu einem signifikanten Rückgang der freiwilligen Kraftfutteraufnahme führte. Die Heuaufnahme reduzierte sich weniger deutlich, so daß der prozentuale Rohfaseranteil der aufgenommenen Ration unter der Wärmebelastung um 0,7-2,6% zunahm.

Die aufgenommene umsetzbare Energie nahm unter der Wärmebelastung in allen vier Versuchsdurchgängen bei jedem Einzeltier ab.

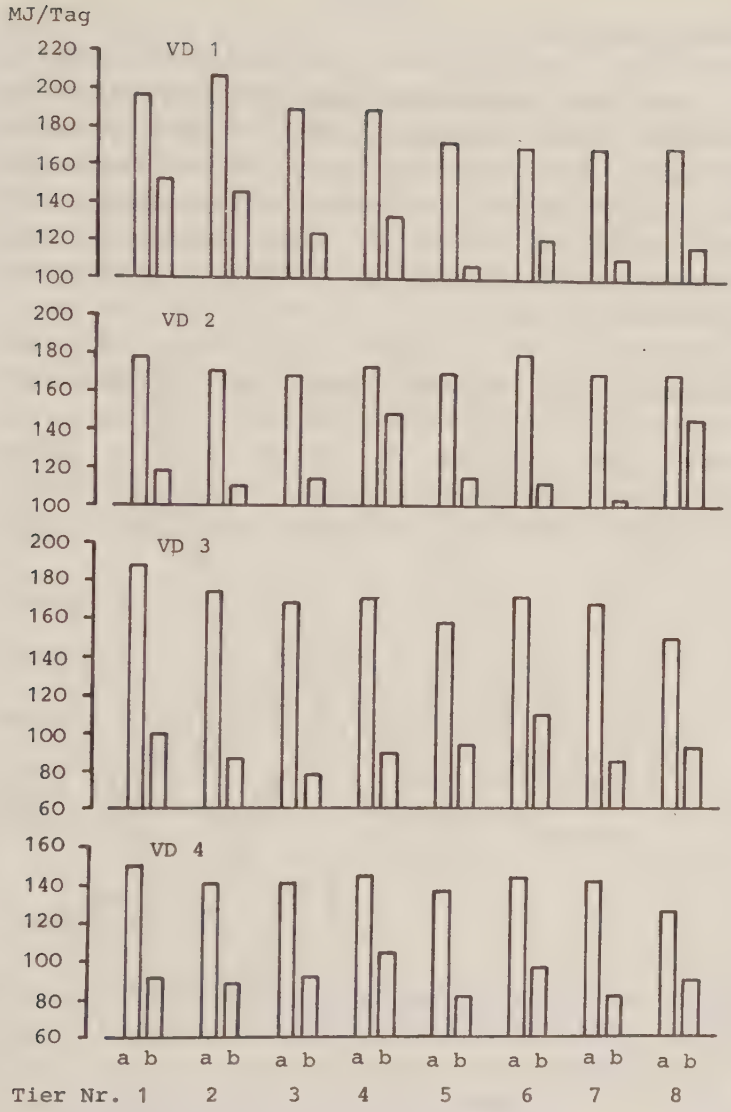

Abb. 26: Gegenüberstellung der aufgenommenen umsetzbaren Energie bei Kammertemperaturen von 15° (a) und 30°C (b) Mittelwerte der Einzeltiere in den vier Versuchsdurchgängen

4.2.6 Wasserverbrauch

Mit abnehmender Laktationsleistung reduzierte sich der durchschnittliche Wasserkonsum der Tiere. In der Meßperiode 1 (15°C) wurden im VD2 gegenüber dem VD1 durchschnittlich 3 l Wasser täglich weniger aufgenommen. Im VD3 erhöhte sich die Differenz auf etwa 12 Liter und in dem Versuchsdurchgang nach Abschluß der Laktation wurden im Mittel 29 Liter weniger verbraucht.

Dem Verlauf der Wasseraufnahme ist in allen vier Versuchsdurchgängen ein initialer Anstieg nach Einsetzen der Wärmebelastung am 10. Versuchstag gemeinsam, so daß am 11. Versuchstag der jeweilige Maximalwert erreicht wurde (Abb.27). In den folgenden Tagen reduzierte sich die Wasseraufnahme deutlich auf Werte, die unter den bei 15°C Kammer-

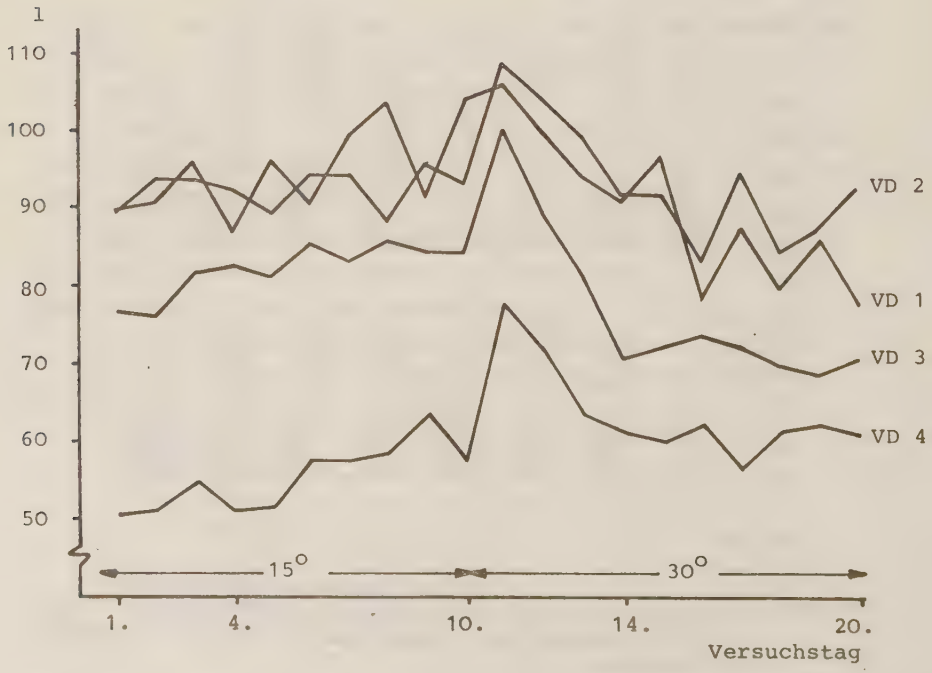

Abb. 27: Verlauf der Wasseraufnahme der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

temperaturen erhobenen Ausgangswerten lagen. Im VD1 und VD3 nahm die Wasseraufnahme in der Meßperiode 2 (30°C) um 10,6-12,7 l/Tag gegenüber der Meßperiode 1 (15°C) ab. Diese Reduzierung ließ sich varianzanalytisch mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit absichern (Tab.20). Eine Ausnahme bildet der vierte Versuchsdurchgang, da unter der Wärmebelastung ein erwartungsgemäßer Anstieg der Wasseraufnahme erfolgte, der aber mit durchschnittlich 3,7 l/Tag nicht signifikant war.

Tabelle 20: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (modell 2) für das Merkmal "Wasserverbrauch"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang 1	2	3	4
Behandlung	1	18,7 *	0,6	7,5 *	1,6
Tiere	7	12,4 ***	20,0 ***	31,2 ***	15,3 ***
Behandl. x Tiere	7	1,6	6,8 ***	19,6 ***	7,4 ***
MQ_{Rest}	96	105,78	69,36	30,11	32,40

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

4.2.7 Atemfrequenz

Da die Atemfrequenz während der Maskenatmung erheblich von der Frequenz der freien Atmung abwich (Kapitel 4.1.3) wurde das Mittel der Frequenzen der freien Atmung als tägliche durchschnittliche Atemfrequenz gewählt.

Aus der Abbildung 28 ist zu entnehmen, daß sich die Atemfrequenz nach Einsetzen der Wärmebelastung auf das 2- bis 3-fache erhöhte. Außer dem abweichenden Verhalten im dritten

Versuchsdurchgang sind zwischen den Versuchsdurchgängen keine wesentlichen Unterschiede erkennbar. Die auffallend höhere Atemfrequenz bei Kammertemperaturen von 15°C im VD3 wurde durch einen größeren Anteil von in liegender Position erfaßten Werten verursacht. Wie aus Abbildung 8 hervorgeht, atmeten die Versuchstiere in Liegestellung mit höheren Frequenzen.

Die Betrachtung der durchschnittlichen Atemfrequenzen der Einzeltiere macht deutlich, daß der temperaturbedingte Anstieg der Atemfrequenz bei allen Tieren etwa gleich ist. Die Rangfolge in der Höhe der Atemfrequenzen der Einzeltiere bleibt zwischen den Versuchsdurchgängen weitgehend erhalten (Abb.29).

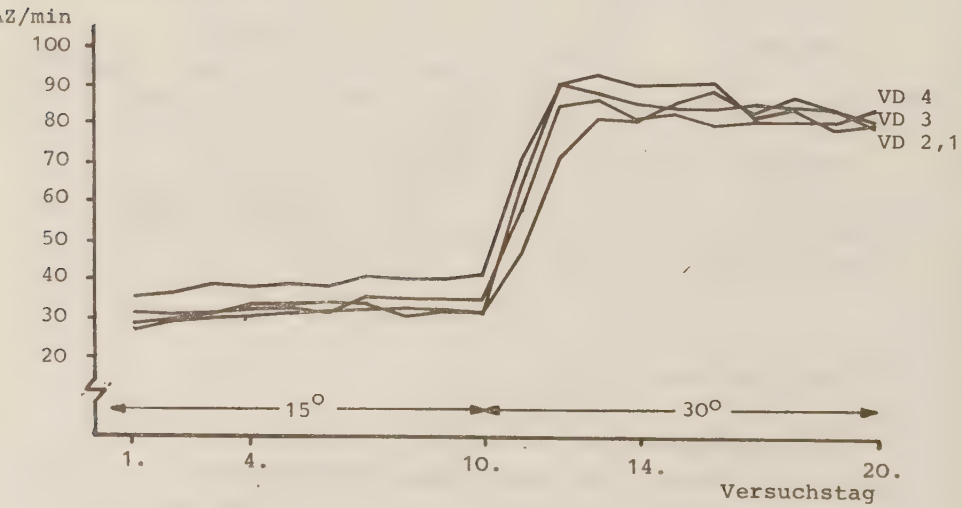

Abb. 28: Verlauf der Atemfrequenz der einzelnen Versuchsdurchgänge in Abhängigkeit vom Versuchstag
Tagesmittelwerte der acht Versuchstiere
VD - Versuchsdurchgang

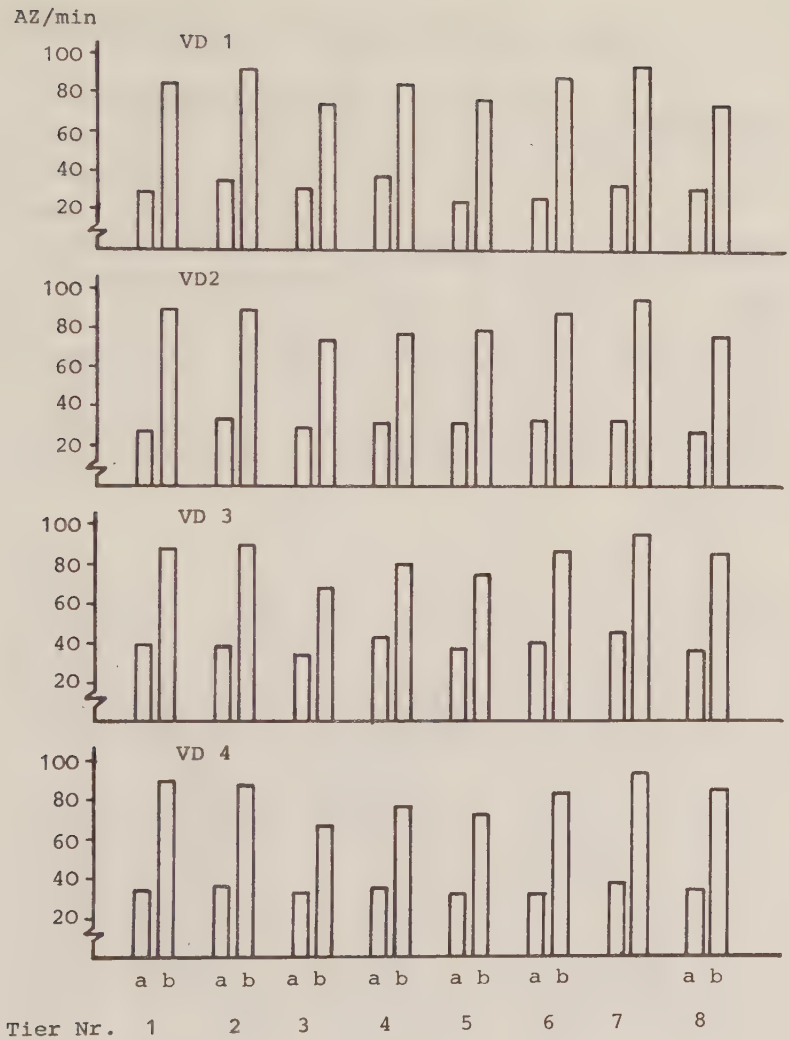

Abb. 29: Gegenüberstellung der Atemfrequenz bei Kammertemperaturen von 15° (a) und 30°C (b).
Mittelwerte der Einzeltiere in den vier Versuchsdurchgängen
VD - Versuchsdurchgang

Tabelle 21: F-Werte und Signifikanzen nach der Varianzanalyse (Modell 2) für das Merkmal "Atemfrequenz"

Varianzursache	FG	Versuchsdurchgang			
		1	2	3	4
Behandlung	1	390,5 ***	420,7 ***	356,5 ***	289,4 ***
Tiere	7	10,1 ***	12,0 ***	30,9 ***	27,9 ***
Behandl. x Tiere	7	5,6 ***	7,7 ***	9,4 ***	15,8 ***
MQ_{Rest}	96	35,24	23,99	16,20	13,83

*** P≤ 0,001 ** P≤ 0,01 * P≤ 0,05

Varianzanalytisch läßt sich erwartungsgemäß ein hochsignifikanter Einfluß der Behandlung nachweisen (Tab.21). Die hohe individuelle Varianz dieses Merkmales zwischen den Tieren manifestiert sich ebenfalls in der Interaktion. Aus der unterschiedlichen Restabweichung ist ein Gewöhnungseffekt erkennbar, da die Streuung der Werte innerhalb der Einzeltiere mit zunehmender Wiederholung abnimmt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die vorgegebene Temperaturbelastung von 30°C und 50% rel. Luftfeuchte einen Anstieg der Atemfrequenz um das 3- bis 4-fache bewirkte. Das Laktationsstadium übte bei den Einzeltieren keinen Einfluß auf die absolute Höhe und den temperaturbedingten Anstieg der Atemfrequenz aus, da die Tiere in allen vier Versuchsdurchgängen in ähnlicher Weise reagierten.

4.2.8 Schwitzrate

Da das Schwitzratenmeßgerät am Versuchsanfang nicht zur Verfügung stand, ergab sich ein unvollständiger Datensatz, der eine Einbeziehung des ersten Versuchsdurchgangs in die Auswertung nicht erlaubt.

Aus der Abbildung 30 ist zu entnehmen, daß bei der Kammertemperatur von 15°C nur geringe Unterschiede in der gemessenen durchschnittlichen Schwitzrate bestanden. Bei der Kammertemperatur von 30°C wiesen die Tiere im zweiten Versuchsdurchgang die höchste Schwitzrate auf. Gegen Ende und nach Abschluß der Laktation (VD3 und VD4) ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede in der gemessenen Schwitzrate.

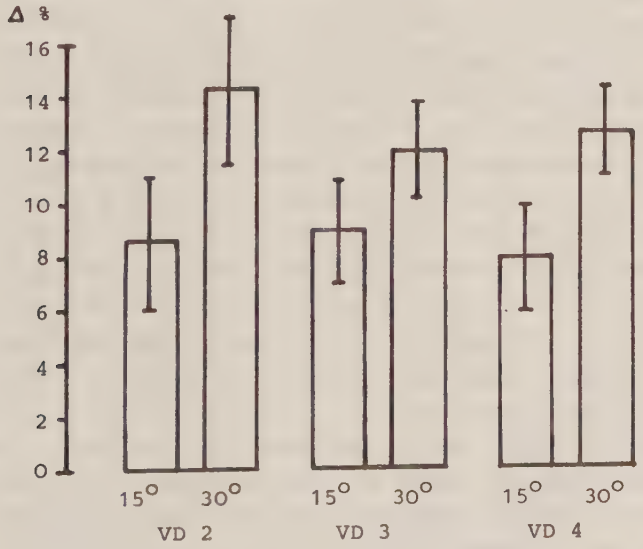

Abb. 30: Gegenüberstellung der Schwitzrate bei Kammertemperaturen von 15° und 30°C
Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen
VD - Versuchsdurchgang

Auf eine varianzanalytische Betrachtung dieses Merkmals nach Modell 2 wurde verzichtet, da ein direkter Vergleich der bei unterschiedlichen Fühlertemperaturen ermittelten Werte nicht zulässig ist.

4.2.9 Korrelationen zwischen der O_2-Aufnahme und einigen ausgewählten Merkmalen

In Anlehnung an die Fragestellung Nr. II (Seite 25) sind in der Tabelle 22 die Korrelationen zwischen der O_2-Aufnahme und der Milchleistung, der Herzfrequenz sowie der aufgenommenen umsetzbaren Energie dargestellt.

Bei der gemäßigten Kammertemperatur von 15°C bestand zwischen der Milchleistung und der O_2-Aufnahme keine nachweisbare Beziehung. In der Meßperiode 2 (30°C) manifestiert sich, mit Ausnahme des ersten Versuchsdurchganges, eine hochsignifikante Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen. Vermutlich waren die in Kapitel 4.1 beschriebenen methodischen Unsicherheiten am Versuchsanfang verantwortlich für die nicht absicherbare Korrelation im VD1. Dies erklärt ebenfalls den bei der Herzfrequenz und der O_2-Aufnahme unter der Wärmebelastung errechneten geringen Korrelationskoeffizienten von 0,36, der sich in den folgenden Versuchsdurchgängen auf bis zu 0,79 erhöhte. Unter gemäßigten Kammertemperaturen war diese Beziehung geringer und nicht in jedem Versuchsdurchgang absicherbar.

Die Energieaufnahme wies eine positive Beziehung zum Sauerstoffverbrauch auf, wobei die Korrelationskoeffizienten des dritten Versuchsdurchganges in beiden Temperaturbereichen unter der Signifikanzgrenze von 5% Irrtumswahrscheinlichkeit lagen.

Tabelle 22: Phänotypische Korrelationen zwischen der O_2-Aufnahme und ausgewählten Merkmalen in den einzelnen Versuchsdurchgängen bei 15° und 30°C Kammertemperatur

Merkmal	Versuchs-durchgang	15°C	30°C
Milch-	1	0,07	0,15
leistung	2	-0,10	0,66**
(kg)	3	-0,08	0,41**
Herz-	1	0,70**	0,36**
frequenz	2	0,36**	0,79**
(HS/min)	3	0,14	0,70**
	4	0,22	0,64**
Energie-	1	0,62**	0,35**
aufnahme	2	0,30**	0,56**
(MJ)	3	0,20	0,16
	4	0,36**	0,73**

** $P \leq 0,01$

5. DISKUSSION

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich bei jedem Einzeltier eine Reduzierung der Sauerstoffaufnahme unter der Temperaturbelastung von 30°C. Dabei schien die Höhe der Körpertemperatur keine abhängige Größe zu sein, weil keine signifikante Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen nachgewiesen werden konnte. Dieser Befund steht im Gegensatz zu der Tatsache, daß zwischen Stoffwechseltätigkeit und Körpertemperatur eine enge Beziehung besteht. Die in dieser Untersuchung nicht nachweisbare Korrelation zwischen der O_2-Aufnahme und der Körpertemperatur ist vermutlich durch die gleichbleibende Rektaltemperatur der Einzeltiere in den Meßperioden verursacht, die keine Beziehung zu den wechselnden Sauerstoffaufnahmen entstehen läßt. Die Körpertemperatur wird demnach durch physikalische und chemische Thermoregulation auf einem neuen, hyperthermen Plateau stabilisert.

Die Wärmebelastung bewirkte eine Depression der Milchmengenleistung, die in einem deutlichen Zusammenhang mit der Reduktion der Sauerstoffaufnahme stand ($r \leq 0{,}66$). Unter gemäßigten Temperaturen (15°C) bestand keine Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen. Ein ähnliches Bild zeigte die korrelative Beziehung zwischen der Milchleistung und der Energieaufnahme. Während sich unter der Wärmebelastung hochsignifikante Korrelationskoeffizienten bis 0,61 ergaben, sind diese im ersten Versuchsabschnitt (15°C) mit bis zu 0,25 weniger deutlich und teilweise nicht absicherbar. Die unter Wärmebelastung sich zeigenden engeren Beziehungen zwischen den physiologischen Parametern deuten darauf hin, daß sich die Stoffwechselvorgänge bei bestehender Hyperthermie auf das für Erhaltung und verminderte Leistung erforderliche Niveau optimieren. Dies zeigt sich ebenfalls in dem Verhalten der Herzfrequenz. Unter der Wärmebelastung reduzierte sich die Herzschlagfrequenz in enger Beziehung zur Abnahme des O_2-Verbrauchs (Tab.22). Bei gemäßigter Tempera-

tur war die Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen geringer und nicht in jedem Versuchsdurchgang absicherbar. So konnte auch keine korrelative Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der Milchleistung im ersten Versuchsabschnitt (15°C) nachgewiesen werden, während sich unter der Wärmebelastung hochsignifikante Korrelationskoeffizienten ergaben.

Die Zusammenhänge zwischen Futteraufnahme und Thermoregulation sind nicht vollständig geklärt. Wurde früher die Regulation der Nahrungsaufnahme durch im Hypothalamus gelegene Hunger- und Sättigungszentren angenommen (KMENT, 1976), so geht man heute von ventromedial im Hypothalamus gelegenen Regulationsstrukturen aus, da die Zusammenhänge komplexer sind. Die Reduzierung bzw. Einstellung der Futteraufnahme erfolgt aufgrund von Sättigungssignalen, die auf nervalem Weg über Vagusafferenzen oder auf humoralem Weg (bekannt ist das überwiegend im pars proventriculare der Magenwand gebildete Peptidhormon Bombesin) auf die Regulationsstrukturen im ZNS einwirken. Über die Bedeutung der Auswirkung der Temperatur auf diese Strukturen bestehen weiterhin Unklarheiten.

Eine Reduzierung der Energieaufnahme unter Wärmebelastung ist bekannt und bestätigt sich in dem durchgeführten Versuch (Abb.28). Ergebnisse experimenteller Arbeiten, in denen Rinder unter Wärmebelastung niedrigere Rohfasergehalte in der aufgenommenen Ration bzw. einen steigenden Anteil an rohfaserarmen Futterkomponenten aufwiesen (BREIDENSTEIN et al., 1960; McDOWELL et al., 1969; MIESCHKE, 1977; PASCKKE, 1982), konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden.

In der Literatur finden sich keine Angaben über die wirksamen Mechanismen, die einem Rind bei kurzfristiger Wärmebelastung mitteilen, daß für eine rohfaserärmere Ration geringere Verdauungsarbeit zu leisten ist. Die als temperaturbedingte Reduzierung der Rohfaseraufnahme beschriebene Wirkung wird aufgrund der Versuchsanordnungen verursacht, da den

Tieren unter gemäßigten Umgebungstemperaturen das schmackhafte, rohfaserarme Kraftfutter restriktiv gefüttert wurde, und die Tiere zur Sättigung nach Verzehr des Kraftfutters auf das rohfaserreichere Heu zurückgriffen. Da der Sättigungspunkt unter Temperaturbelastung früher erreicht wird, ist der aufgenommene Heuanteil geringer. In der vorliegenden Untersuchung wurde den Tieren über den gesamten Versuchszeitraum Kraftfutter und Heu zur freien Aufnahme vorgelegt. Bei dieser ad libitum-Fütterung erwies sich die Befürchtung von unphysiologisch geringen Rohfaseraufnahmen als unbegründet. Die Tiere wählten bei gemäßigten Kammertemperaturen einen Rohfaseranteil an der Gesamtration von 17,5-20%, der mit dem von KAUFMANN (1976) geforderten Mindestanteil übereinstimmt. Unter der Wärmebelastung erhöhte sich dieser Anteil um durchschnittlich 0,7-2,6%. Mit den Einschränkungen, die für die Übertragung von Klimakammerversuchen auf Feldbedingungen bestehen, würden diese Ergebnisse bedeuten, daß es auch in heißen Klimaten möglich wäre, einen beträchtlichen Anteil des Energiebedarfs mit dem zur Verfügung stehenden Grundfutter zu decken.

Die Frage der Energieverwertung unter Wärmebelastung kann anhand der Ergebnisse dieses Versuchs nicht im Detail beantwortet werden. Als Diskussionsgrundlage ist in Abbildung 31 eine Energiebilanz unter Berücksichtigung der aufgenommenen umsetzbaren Energie und der durch Milch und Wärme abgegebenen Energie dargestellt. Der Energiegehalt der Milch wurde nach der Formel von TYRELL & REID (1965) entsprechend dem Fettgehalt ermittelt. Die metabolische Wärmebildung wurde aus der gemessenen O_2-Aufnahme errechnet, indem ein kalorisches Äquivalent von 20,29 kJ (4,85 kcal) zugrundegelegt wurde.

Bei gemäßigter Kammertemperatur (15°C) ergab sich in allen vier Versuchsdurchgängen eine positive Energiebilanz, indem die Aufnahme an umsetzbarer Energie die Summe aus Milch- und Wärmeenergie übertraf. Dieser gewonnene Energie-

anteil wurde in Körpersubstanz umgesetzt (Abb.32). Die Wärmebelastung führte dagegen zu einer negativen Energiebilanz. Zur Bereitstellung der erforderlichen Energie wurde Körpersubstanz abgebaut.

Nach Angaben der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere (1979) kann der Energiegehalt von 1 kg Körpersubstanz adulter Rinder mit 16 MJ angenommen werden. Unter Berücksichtigung der aufgenommenen umsetzbaren Energie und der durch den Abbau von Körpersubstanz bereitgestellten Energie ergeben sich in beiden Temperaturbereichen etwa gleiche prozentuale Anteile von Milch- und Wärmeenergie an der gesamt zur Verfügung stehenden, metabolisierbaren Energie, wie aus der Tabelle 23 ersichtlich.

Mit abnehmender Laktationsleistung erfolgte eine relative Zunahme der Wärmeverluste bezogen auf die gesamte, metabolisierbare Energie. Dies kann als eine Folge der ad libitum-Fütterung betrachtet werden, da die Tiere mit abnehmender Leistung eine zunehmend höhere Energieaufnahme gegenüber dem errechneten Bedarf aufwiesen. Eine weitere Folge der übermäßigen Futteraufnahme ist der steigende, prozentuale Anteil des positiven Restes dieser Bilanzbetrachtung, die wahrscheinlich durch eine Herabsetzung der Umsetzbarkeit des Futters verursacht wurde. Die sich durch die Übertragung kurzzeitiger Sauerstoffverbrauchsmessungen auf 24 Stunden mit einem angenommenen kalorischen Äquivalent ergebenen Fehler und Ungenauigkeiten gehen ebenfalls in diesen Rest ein.

Der prozentuale Anteil der durch die Milch abgegebenen Energie an der metabolisierbaren Energie verringert sich mit abnehmender Laktationsleistung zugunsten der metabolischen Wärmeverluste. Innerhalb eines Versuchsdurchganges bestanden zwischen den beiden Temperaturbereichen keine deutlichen Unterschiede in dem Energieanteil der Milch im Verhältnis zur gesamten umsetzbaren Energie. Dieser Befund bestätigt

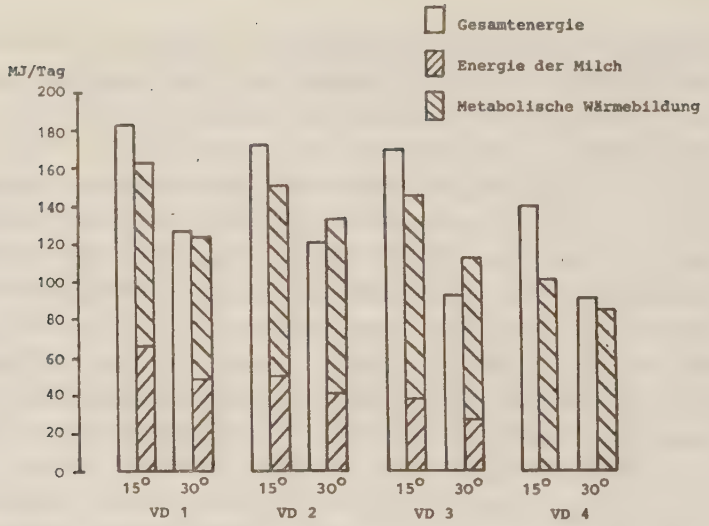

Abb. 31: Gegenüberstellung der aufgenommenen umsetzbaren Energie mit der über Milch und durch Wärmebildung abgegebenen Energie
Gruppenmittelwerte in den einzelnen Versuchsdurchgängen
D - Versuchsdurchgang

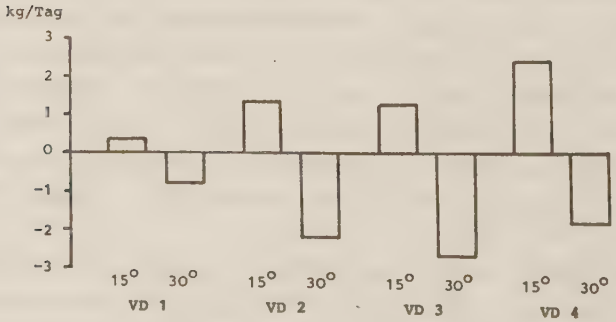

Abb. 32: Änderung des durchschnittlichen Körpergewichts
VD- Versuchsdurchgang

Tabelle 23: Prozentuale Energieanteile der metabolischen Wärmebildung und der Milchbildung an der metabolisierbaren Energie

Versuchs-durchgang	Kammer-temp.	metabol. Wärme %	Energie Milch %	Rest %
1	15°C	52,9	35,4	11,7
	30°C	53,2	35,2	11,6
2	15°C	57,8	29,2	13,0
	30°C	58,4	26,7	14,9
3	15°C	63,6	22,7	13,7
	30°C	62,9	19,9	17,2
4	15°C	71,0	-	29,0
	30°C	70,4	-	29,6

die von KLEIN (1984) aufgestellte Vermutung, daß Rinder eine gleiche Energieverwertung für die Milchbildung bei gemäßigten Temperaturen und unter Wärmebelastung aufweisen. Der in beiden Temperaturbereichen gleiche Anteil an metabolischen Wärmeverlusten (Tab.23) läßt den Schluß zu, daß die Wärmebelastung nicht zu einem in der Literatur vermuteten Anstieg des Erhaltungsbedarfs führte.

Diese Ausführungen über die Energieverwertung unter Temperaturbelastung unterliegen Einschränkungen, die durch die geringe Tierzahl und den kurzen Versuchsablauf gegeben sind. Es eröffnen sich aber interessante Aspekte auf dem Gebiet der Futter- und Energieverwertung, die eine weitere Untersuchung lohnenswert erscheinen lassen, um produktionstechnisch wichtige Fragen nach den Bedarfsnormen für die Futterberechnung von Rindern an tropischen Standorten zu beantworten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen die von einzelnen Autoren (z.B. YECK & STEWARD, 1959; YOUSEF et al., 1967; YOUSEF & JOHNSON, 1967; HALES, 1968; SEIF et al., 1972; TER MEULEN et al., 1975) nachgewiesene Hypothese einer chemischen Gegenregulation hyperthermer Rinder durch Reduzierung des Energieumsatzes.

Der Sauerstoffverbrauch als Maß der metabolischen Wärmebildung reduzierte sich unter Wärmebelastung bis zu 38% gegenüber den gemessenen Ausgangswerten bei gemäßigten Umgebungstemperaturen. Demnach trifft die von BIANCA (1968) angenommene kompensatorische Reduzierung der Wärmebildung zu, wie in der Abbildung 33 an dem Punkt B' angegeben. Allerdings endet die chemische Gegenregulation nach BIANCA

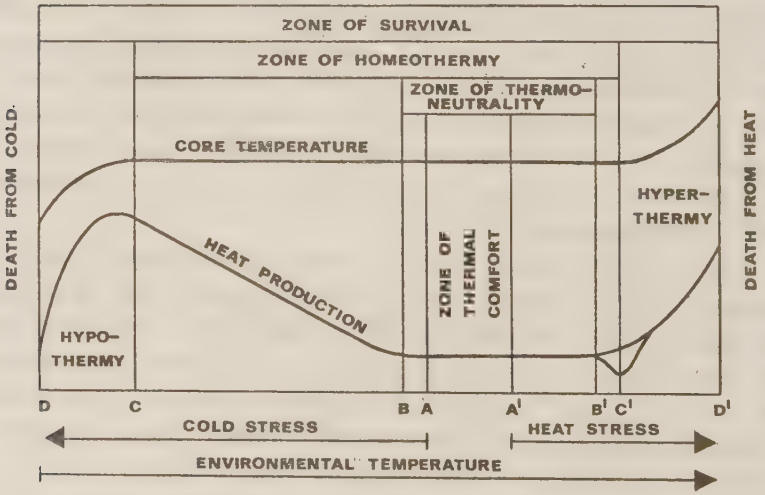

Abb. 33: Schematische Darstellung der Beziehung zwischen Körpertemperatur und endogener Wärmebildung in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur (BIANCA, 1968)

(1968) an dem Punkt C', wo die Körpertemperatur den physiologischen Bereich übersteigt. Mit dem Anstieg der Körpertemperatur wird eine stete Erhöhung der Umsatzrate angegeben, und der Autor verweist auf die Van't Hoff'sche Regel.

In der vorliegenden Untersuchung wurde gerade beim hyperthermen Tier eine verminderte metabolische Wärmebildung festgestellt. Dieses Ergebnis wirft die Frage auf, inwieweit die Van't Hoff'sche RGT-Regel bei den metabolischen Vorgängen Anwendung findet.

Bereits 1968 bemerkten PRECHT et al., daß die RGT-Regel nicht uneingeschränkt für in vivo ablaufende chemische Prozesse gültig ist, da die Optimaltemperatur vieler enzymatischer Reaktionen mit den physiologischen Körpertemperaturen übereinstimmen. KLEIBER (1967) berichtet von vergleichenden, experimentellen Untersuchungen nach KROGH (1916) zwischen poikilothermen und homoiothermen Tieren, wobei der Energieumsatz nur bei den poikilothermen Fröschen und einem curarisierten Hund tendenziell der Van't Hoff'schen Regel folgte. Die theoretische Umsatzsteigerung wurde mit einem Q_{10} von 2 angenommen, d.h. eine Erhöhung der Körpertemperatur um 10°C müßte zu einer Verdoppelung des Gesamtstoffwechsels führen. Die Messungen wurden in Temperaturbereichen von etwas über 0° bis 30°C (Frosch), von etwa 10° bis 35°C (Ratte) und etwa 15° bis 40°C (curarisierter Hund) vorgenommen. LEHNINGER (1977) bestätigt den Temperaturkoeffizienten (Q_{10}), der jedoch von einem Enzym zum anderen etwas variiert, wobei die meisten enzymkatalysierten Reaktionen eine Optimaltemperatur haben, da Enzyme als Proteine bei Hitze denaturieren und inaktiv werden, wenn die Temperatur über einen bestimmten Punkt hinaus zunimmt. Dieser Punkt ist für viele, wenn auch nicht für alle Enzyme, identisch mit der physiologischen Körpertemperatur. Höhere Temperaturen führen zu einer steten Abnahme der Enzymaktivität, die in vitro bei etwa 55°-60°C erlischt.

Der deutlich geringere O_2-Verbrauch der Versuchstiere (Abb.10 und 11), trotz bestehender Hyperthermie (Abb.14), deutet darauf hin, daß es über die von BIANCA (1968) in

Abbildung 33 mit C' gekennzeichnete kritische Temperatur zu einer weiter anhaltenden Verminderung der metabolischen Wärmebildung kommen kann.

Die Senkung des Gesamtstoffwechsels muß als eine autonome, thermoregulatorische Maßnahme betrachtet werden, die über nervale und humorale Regelung erfolgt, wobei die bekannte Minderung der Schilddrüseninkretion (YOUSEF & KIBLER, 1967) bei anhaltender Wärmebelastung als bedeutendste Regelgröße hervorzuheben ist. Daneben bewirkt die Verminderung der Futter- und somit der Energieaufnahme unter einer Wärmebelastung einen Rückgang der Stoffwechselintensität. Da die Futteraufnahme zentralnervöser Regelung unterliegt, ist die reduzierte Energieaufnahme und deren Wirkung auf den Energieumsatz als eine autonome themoregulatorische Maßnahme anzusehen. Eine deutliche Verminderung der Umsatzrate durch Verhaltensregelung kann ausgeschlossen werden, da die Versuchsbedingungen soweit standardisiert waren, und es den Tieren nicht möglich war, beispielsweise ihre Bewegungsaktivität wesentlich einzuschränken.

Zusammenfassend können durch die dargestellten Ergebnisse folgende Aussagen getroffen werden:

Es bestätigt sich die schon früher postulierte Hypothese einer chemischen Gegenregulation wärmeinduzierter, hyperthermer Rinder. In der Beziehung zwischen der endogenen Wärmebildung und der Körpertemperatur befindet sich die geringste metabolische Wärmebildung nicht im Bereich der Normothermie, wie in den Abbildungen 1 und 33 angegeben, sondern wird beim hyperthermen Tier erreicht. Es wird empfohlen, den weiteren Verlauf der Beziehung zwischen Körpertemperatur und endogener Wärmebildung in langfristigen Untersuchungen zu verfolgen, um genauere Kenntnisse über die Beteiligung von chemischen Thermoregulationsmechanismen am hyperthermen Organismus zu erhalten.

Weiterhin hat der Versuch gezeigt, daß Rinder bei freier Futterwahl keinen Unterschied in dem prozentualen Rohfaser-

anteil der aufgenommenen Ration bei gemäßigten und hohen Umgebungstemperaturen aufwiesen.

Die aufgenommene umsetzbare Energie reduziert sich unter Wärmebelastung, doch die prozentualen Anteile der über Milch und Wärmeverluste abgegebenen Energie zur metabolisierbaren Energie blieben in beiden Temperaturbereichen gleich.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den thermoregulatorischen Vorgängen bei laktierenden Rindern unter einer Wärmebelastung. Neben den physikalischen Regelmechanismen wurde die Beteiligung chemischer Thermoregulationsmechanismen untersucht, wobei die Hypothese einer chemischen Gegenregulation hyperthermer Rinder (erniedrigter Energieumsatz trotz erhöhter Körperkerntemperatur) geprüft werden sollte. Die dazu angewendete Methode der indirekten Kalorimetrie, wobei der Sauerstoffverbrauch mittels eines halboffenen Systems mit einer Atemmaske bestimmt wurde, stellte den methodischen Schwerpunkt der Arbeit dar.

Die Untersuchung fand an acht erstlaktierenden Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte statt, die dreimal während der Laktation und einmal nach Abschluß der Laktation je einem zwanzigtägigen Klimakammerversuch unterworfen wurden. Jeder Versuchsdurchgang gliederte sich in eine zehntägige Phase bei 15°C und 70% relative Luftfeuchte und einer anschließenden Belastungsphase bei 30°C und 50% relative Luftfeuchte. Die jeweils ersten drei Tage unter einer neuen Temperaturbedingung dienten der Gewöhnung der Tiere an die Versuchsbedingungen, so daß pro Temperaturbedingung eine siebentägige Meßperiode stattfand.

Folgende Merkmale wurden erfaßt:
Rektaltemperatur, Sauerstoffverbrauch, Milchleistung, Milcheiweißgehalt, Milchfettgehalt, Herzfrequenz, Futteraufnahme, Futterwahlverhalten, Wasserverbrauch, Atemfrequenz und Schwitzrate.

Die angewendete Methode der Respirationsmessung bewährte sich in der Versuchsdurchführung. Als Nachteil bewirkte die Maske unter Wärmebelastung eine Reduzierung der Atemfrequenz, die bis zu 50% im Vergleich zu den Ausgangswerten bei freier Atmung betrug. Dieser in der Literatur vielfach beschriebene Effekt ließ sich auch nicht durch die Konstruk-

tion einer verbesserten Atemmaske beheben. Die ermittelte durchschnittliche O_2-Aufnahme der Versuchstiere betrug 5,88 ml pro Kilogramm Körpergewicht in der Minute. Durch die signifikante Reduzierung der Milchleistung um 21-34%, der Herzfrequenz um 7-17%, der O_2-Aufnahme um 8-23% und der Energieaufnahme um 31-45% unter der Wärmebelastung wurde angedeutet, daß die Hypothese einer chemischen Gegenregulation hyperthermer Rinder zutrifft.

Abweichend von den Angaben in der Literatur wiesen die Tiere bei der durchgeführten ad-libitum-Fütterung eine gleichbleibende Rohfaseraufnahme in beiden Temperaturbereichen auf, wodurch angedeutet wird, daß es auch in heißen Klimaten möglich wäre, einen beträchtlichen Anteil des Energiebedarfs von Rindern mit dem zur Verfügung stehenden Grundfutter zu decken.

7. SUMMARY

The present study is concerned with the effects of high temperature stress on the process of thermoregulation in German Friesian cows during their lactation. In addition to the physical ways of heat loss the physiological response of chemical thermoregulation under heat stress was investigated. One aim was to prove the hypothesis of a chemical regulation (decrease of energy metabolism in spite of an increase in body temperature). An indirect calorimetric method was applied to measure the oxygen consumption with an open circuit respiratory exchange apparatus using a respiratory mask. The description of this procedure was one of the main subjects of this study.

Eight cows in their first lactation were observed. Three times during their lactation and once after lactation they were kept in a climatic chamber for a 20 day period. For the first 10 days they were exposed to a constant ambient temperature of 15°C and 70% relative humidity. In the following 10 days the temperature was raised to 30°C and 70% relative humidity. For the first 3 days when they were submitted to a new temperature the cows were allowed to adapt to the new condition and no measurements were taken. Therefore each testing period included 7 days of recording.

The following features were measured:
body temperature, oxygen consumption, milk yield, milk protein percentage, milk fat percentage, heart frequency, feed intake, selective behaviour, water consumption, respiratory rate and sweating rate.

The applied gas exchange method proved to be adequate for measuring O_2-consumption. However, one disadvantage was the use of the mask, which reduced the respiration rate under heat stress by 50% in comparison to free respiration. This effect is described by many authors. The construction of a new respiration mask did not reduce this effect. The average

oxygen consumption was 5,88 ml O_2 per kilogramm body weight per minute. This significant reduction in milk yield (21-34%), heart rate (7-17%), oxygen consumption (8-23%) and energy intake (31-45%) confirms the hypothesis of the existence of chemical thermoregulation as a response to heat stress.

Opposed to the results of other studies, the cows did not reduce their crude-fibre intake under warm conditions when they were fed ad libitum. From this it might be concluded that even in tropical regions a high portion of the energy requirements of cattle can be covered by locally available roughage.

8. LITERATURVERZEICHNIS

ALBERS, C. (1961):
Der Mechanismus des Wärmehechelns beim Hund.
Pflügers Arch. 274, 148

ASCHOFF, J. (1981):
Der Tagesgang der Körpertemperatur und der Sauerstoffaufnahme bei Säugetieren als Funktion des Körpergewichtes.
Z. f. Säugetierkunde 46, 201

AUER, C. (1980):
Schwitzratenmessung bei unterschiedlicher Temperaturbelastung am Schwarzbunten Rind - Ein Beitrag zur Methodik.
Diss Techn. Univ. Berlin

AUER, C. & J.H. WENIGER (1982):
Schwitzratenmessung bei unterschiedlicher Temperaturbelastung am Schwarzbunten Rind - Ein Beitrag zu Methodik.
Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol. 99, 1

BALCH, C. (1969):
Voluntary intake of food.
in: Handbuch für Tierernährung, Band 1
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

BAYER, W. (1979):
Untersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchten bei hoher Umgebungstemperatur auf Leistungseigenschaften laktierender Rinder im Klimastall.
Diss. Techn. Univ. Berlin

BAYER, W.; H. HIPPEN; D. STEINHAUF & J.H. WENIGER (1980):
Some effects of high ambient temperature and different levels of relative humidity on thermoregulation and performance traits of lactating cows.
Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol. 97, 9

BELL, A.W.; P.L. CLARKE & G.E. THOMPSON (1975):
Changes in the metabolism of the shivering hind leg of the young ox during several days of continuous cold exposure.
Quart. J. of Exp. Physiol. 60, 267

BENNET, J.W. (1972):
The maximum metabolic response of sheep to cold: Effects of rectal temperature, shearing, feed consumption, body posture, and body weight.
Austr. J. agric. Res. 23, 1045

BIANCA, W. (1968):
Thermoregulation.
in: Adaption of domestic animals. (Ed.: E.S.E. HAFEZ)
Lea & Febiger, Philadelphia

BLAXTER, K.L. (1962):
The energy metabolism of ruminants.
Hutchinson, London

BLAXTER, K.L. & F.W. WAINMAN (1961):
Influence of environmental temperature on the energy metabolism and heat emission of steers.
J. Agric. Sci. 56, 81

BORUT, A.; R. OMI'EL & A. SHKOLNIK (1979):
Heat balance of resting and walking goats: comparison of climatic chamber and exposure in the desert.
Physiolog. Zoology 52, 105

BOUVIER, J.C.; J. ESPINOSA-MOLINER & M. VERMOREL (1974):
Influence de temperatures et d'hygrometries élévees pendant une partie de la journée sur la thermoregulation du veau préruminant a l'engrais.
Anales de Biologie Anim., Biochem., Biophy. 14, 721

BREIDENSTEIN, C.P.; J.E. JOHNSTON; G.A. HINDERY & L.L. RUSOFF (1960):
Effect of fiber content of the ration on the performance of dairy cows under hot and cool conditions.
J. Dairy Sci. 43, 443

BROAD, T.E. & M.J. ULYATT (1980):
The effect of level of food intake on the incorporation of acetate into lipids and its distribution among various tissues in sheep.
Br. J. Nutr. 44, 71

BROBECK, J.R. (1948):
Food intake as a mechanism of temperature regulation.
Yale J. Biol. Med. 20, 545

BROBECK, J.R. (1960):
Food and temperature.
Recent Progress in Hormone Research 16, 439

BRODY, S. (1948):
Environmental physiology.
Physiological backgrounds.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 423

BRODY, S. (1956):
Climatic physiology of cattle.
J. Dairy Sci. 39, 715

BROUWER, E. (1965):
Report of Sub-committee on Constants and Factors.
in: Energy Metabolism, Proc. of the 3rd Symposium held at Troon, Scotland, May 1964, 441
(Ed. K.L. BLAXTER) Academic Press, London - New York

BÜNGER, G. (1981):
Einflüsse alternierender Temperatur und relativer Luftfeuchte auf die Thermoregulation laktierender Kühe der Rasse Deutsche Schwarzbunte im Klimakammerversuch.
Diss. Freie Univ. Berlin

BÜNGER, G.; D. MOREAU; D. STEINHAUF & J.H. WENIGER (1982):
Einflüsse alternierender Temperatur und relativer Luftfeuchte auf die Thermoregulation laktierender Kühe der Rasse Deutsche Schwarzbunte im Klimakammerversuch.
Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol. 99, 111

BURGSTALLER, G. (1979):
Praktische Rinderfütterung.
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

CLARKE, P.L.; E.M. THOMPSON & G.E. THOMPSON (1976):
Acute cold exposure and milk secretion in the goat.
J. of Physiolog. 263, 176

COLEBROOK, W.F. & J.L. BLACK (1981):
Influence of dietary lysine content on energy utilization in pre-ruminant lambs.
Anim. Prod. 33, 253

DARLING, K.F.; J.D. FINDLAY & G.E. THOMPSON (1974):
Effect of intraventricular acetylcholine and eserine on the metabolism of sheep.
Pflügers Archiv 349, 235

DAVEY, A.W.F. & C.W. HOLMES (1977):
The effect of shearing on the heat production and activity of sheep receiving dried grass or ground hay.
Anim Prod. 24, 355

DAVIS, A.V. & C.P. MERILAN (1960):
Effect of constant environmental temperatures and relative humidities on feed digestion by lactating Holstein cows.
J. Dairy Sci. 43, 871

DEGEN, A.A. & A. SHKOLNIK (1978):
Thermoregulation in fat-tailed awassi, a desert sheep, and in german mutton merino, a mesic sheep.
Physiolog. Zoology 51, 333

DEGEN, A.A. & B.A. YOUNG (1982):
Intake energy, energy retention and heat production in lambs from birth to 24 weeks of age.
J. of. Anim. Sci. 54 (2), 353

DLG (1983):
Methode zur Schätzung des NEL-Gehaltes im Milchleistungsfutter, 2. Auflage.
Forschungsbericht Nr. 538022
DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

DLG (1982):
Futterwerttabellen für Wiederkäuer, 5. Auflage.
DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

ERBERSDOBLER, H.; H. PETRY & J. TIEWS (1976):
Energiehaushalt.
in: SCHEUNERT, A. & A. TRAUTMANN: Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 6. Auflage.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

FINCH, V.A.; I.L. BENNET & C.R. HOLMES (1982):
Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate.
J. agric. Sci. 99, 479

FINDLAY, J.D. & D.L. INGRAM (1961):
Brain temperature as a factor in the control of thermal polypnoea in the ox (Bos taurus).
J. Physiol. (Lond.) 155, 72

FUKUHARA, K.; T. SAWAI & S. YAMAMOTO (1983):
The relationship between heart rate and heat production of dairy cows in prepartum and postpartum.
Jap. J. of Zootech. Sci. 54, 497

GEBREMEDHIN, K.G.; C.O. CRAMER & W.P. PORTER (1981):
Predictions and measurements of heat production and food and water requirements of holstein calves in different environments.
Transactions of the ASAE 24, 715

GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE DER HAUSTIERE (1979):
Nettoenergie-Laktation (NEL) - die neue energetische Futterbewertung für Milchkühe.
Der Tierzüchter 31, 257

GROSSMANN, R. (1983):
Einfluß diurnal wechselnder und konstanter Temperaturen auf Leistungseigenschaften und Thermoregulation unterschiedlich akklimatisierter zweitlaktierender Rinder im Klimakammerversuch.
Diss. Freie Univ. Berlin

HAFEZ, E.S.E. (1968):
Principles of animal adaptation.
in: Adaptation of domestic animals.
(Ed. E.S.E. HAFEZ) Lea & Febiger, Philadelphia

HALES, J.R.S. (1968):
The oxygen cost of hyperventilation in the ox.
J. Physiol. 194, 24

HALES, J.R.S. (1969):
Changes in respiratory activity and body temperature of the severely heat-stressed ox and sheep.
Comp. Biochem. Physiol. 31, 975

HALES, J.R.S. (1973):
Effects of exposure for hot environments on the regional distribution of blood flow and on cardiorespiratory function in sheep.
Pflügers Archiv 344, 133

HALES, J.R.S. (1974):
Physiological responses to heat.
in: MTP International Review of Science
Physiology Series 1, 7, 107
(Ed. D. ROBERTSHAW) Butterworths, London

HALES, J.R.S. (1976a):
Interactions between respiratory and thermoregulatory systems of domestic animals in hot environment.
in: Progress in Biometeorology, Ser.B., Animal Biometeorology 1, 123
(Ed. H.D. JOHNSON) Swets & Zeitlinger, Amsterdam

HALES, J.R.S. (1976b):
The redistribution of cardiac output in animals during heat stress.
in: Progress in Biometeorology, Ser.B., Animal Biometerorology 1, 285
(Ed. H.D. JOHNSON) Swets & Zeitlinger, Amsterdam

HALES, J.R.S.; J.W. BENNETT & A.A. FAWCETT (1976):
Effects of acute cold exposure on the distribution of cardiac output in the sheep.
Pflügers Archiv 366, 153

HALES, J.R.S. & J.D. FINDLAY (1968):
The oxygen cost of thermally induced and CO_2-induced hyperventilation in the ox.
Resp. physiol. 4, 353

HALL, W.C. & S. BRODY (1934):
The energy cost of horizontal walking in cattle and horses of various ages and body weights.
in: Growth and development.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 208

HEATH, M.E. & D.L. INGRAM (1981):
Metabolism of young pigs reared in a hot or cold environment on various energy intakes.
J. therm. Biol. 6, 19

HENSEL, H. (1955):
Mensch und warmblütige Tiere.
in: PRECHT, H.; J. CHRISTOPHERSON & H. HENSEL: Temperatur und Leben.
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg

HERZ, A. (1972):
Physiologische Studien an Milchkühen am tropischen Standort (Israel):
Diss. Techn. Univ. Berlin

HERZ, A.; D. STEINHAUF & E. TAWFIK (1973a):
Untersuchungen zur Thermoregulation beim Schwarzbunten Rind in Israel.
1. Mitt.: Prüfung von Umwelteinflüssen an vier verschiedenen Standorten.
Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol. 90, 204

HERZ, A.; D. STEINHAUF & E. TAWFIK (1973b):
Untersuchungen zur Thermoregulation beim Schwarzbunten Rind in Israel.
2. Mitt.: Vergleich importierter Holländischer Schwarzbunte mit Israeli-Friesian.
Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol. 90, 215

HERZ, A. & D. STEINHAUF (1974):
Zur Reaktion landwirtschaftlicher Nutztiere auf Wärmebelastung.
Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol. 91, 145

HERZ, A. & D. STEINHAUF (1978):
The reaction of domestic animals to heat stress.
Animal Research and Development 7, 7

HIPPEN, H. (1979):
Mechanismen der Thermoregulation und Adaptation bei laktierenden Kühen unter Wärmebelastung (Feucht-heiß und Trocken-heiß).
Diss. Techn. Univ. Berlin

HOLMES, C.W. (1971):
The effect of milk given at various temperatures on the oxygen consumption of young calves.
Anim. Prod. 13; 619

HOLMES, C.W. (1973):
The energy and protein metabolism of pigs growing at a high ambient temperature.
Anim.Prod. 16, 117

HOLMES, C.W.; N.A. McLEAN & K.J. LOCKYER (1978a):
Changes in the rate of heat production of calves during grazing and eating.
New Zealand J. of Agric. Res. 21, 107

HOLMES, C.W.; R. CHRISTENSEN; N.A. McLEAN & J. LOCKYER (1978b):
Effects of winter weather on the growth rate and heat production of dairy cattle.
New Zealand J. of Agric. Res. 21, 549

HOLMES, C.W.; C.T. KING & P.E.L. SAUWA (1980):
Effects of exposure to a hot environment on Friesian and Brahman x Friesian cattle, with some measurements of the effects of exposure to radiant heat.
Anim. Prod. 30, 1

HOPPE, P.P. (1977):
Überleben in Hitze und Trockenheit: Ökophysiologie der Dikdik-Antilope.
Vet. Med. Nachrichten 1, 77

HOPPE, P.P.; K. JOHANSEN; G.M.O. MALOIY & V. MUSEWE (1975):
Thermal panting reduces oxygen uptake in the Dik Dik.
Acta Physiolog. Scand. 95 (2), 9A

HÖRNICKE, H. (1976):
Thermophysiologie.
in: SCHEUNERT, A. & A. TRAUTMANN: Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 6. Auflage.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

INGRAM, D.L. & A. SLEBODZINSKI (1965):
Oxygen consumption and thyroid gland activity during adaptation to high ambient temperatures in young pigs.
Res. vet. Sci. 6, 522

IVANOW, K.P. (1972):
Bioenergetik und Temperaturhomeostase (russ.).
Isdatelstowo, Leningrad

JENNINGS, D.B.; C.C. CHEN; H.H. PHILLIPS & J. SPARLING (1973):
Respiration and metabolism in panting and nonpanting resting conscious dogs.
J. of Appl. Physiology 35, 490

JOHNSON, E.H. (1977):
Der Einfluß von Wärmebelastung auf die Thermoregulation laktierender Kühe.
Diss. Freie Univ. Berlin

JOHNSON, H.D. (1965):
Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle).
Int. J. Biomet. 9, 103

KAMPEN, M. van; B.W. MITCHELL & H.S. SIEGEL (1978):
Influence of sudden temperature changes on oxygen consumption and heart rate in chicken in light and dark environments.
J. Agric. Sci. 90, 605

KAUFMANN, W. (1976):
Kraftfutterzuteilung an Hochleistungskühen aus pansenphysiologischer Sicht.
Der Tierzüchter 7, 323

KARLSON, P. (1980):
Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York

KENNEDY, P.M.; B.A. YOUNG & R.J. CHRISTOPHERSON (1977):
Studies on the relationship between thyroid function, cold acclimation and retention time of digesta in sheep.
J. of Anim. Sci. 45, 1084

KIBLER, H.H. (1957):
Energy metabolism and cardiorespiratory activities in Shorthorn, Santa Gertrudis and Brahman heifers during growth at 50° to 80°F temperatures.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 643

KIBLER, H.H. (1960a):
Energy metabolism and related thermoregulatory reactions in Brown Swiss, Holstein and Jersey calves during growth at 50° and 80°F temperatures.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 743

KIBLER, H.H. (1960b):
Oxygen consumption in cattle in relation to rate of increase in environmental temperature.
Nature 186, 972

KIBLER, H.H. (1962):
Energy metabolism and related thermoregulatory reactions to thermal stress in 50° and 80°F acclimated dairy.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 793

KIBLER, H.H. & S. BRODY (1960):
Effects of temperature, 50°F to 105°F and 50°F to 9°F on heat production and cardiorespiratory activities in Brahman, Jersey and Holstein cows.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 464

KIBLER, H.H. & S. BRODY (1951):
Influence of increasing temperature, 40° to 105°F, on heat production and cardiorespiratory activities in Brown Swiss and Brahman cows and heifers.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 472

KIBLER, H.H. & S. BRODY (1952):
Relative efficiency of surface evaporative, respiratory evaporative and non-evaporative cooling in relation to heat production in Jersey, Holstein, Brown Swiss and Brahman cattle, 5° to 105°F.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 497

KIBLER, H.H. & S. BRODY (1956):
Influence of diurnal temperature cycles on heat production and cardiorespiratory activities in Holstein and Jersey cows.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 601

KIBLER, H.H.; S. BRODY & D.M. WORSTELL (1949):
Influence of temperature, 50° to 105°F, on heat production and cardiorespiratory activities in dairy cattle.
Missosuri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 435

KIBLER, H.H.; H.D. JOHNSON; M.D. SHANKLIN & L. HAHN (1965):
Acclimation of Holstein cattle to 84°F (29°C) temperature: changes in heat producing and heat dissipating functions.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 893

KIBLER, H.H.; H.D. JOHNSON & I.L. BERRY (1966):
Energetic efficiency of lactating dairy cows: effects of controlled and ad libitum feeding at 18°C and 31°C temperatures.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 913

KIBLER, H.H.; R.G. YECK & I.L. BERRY (1962):
Vaporization rates in Brown Swiss, Holstein and Jersey calves during growth at constant 50° and 80°F temperatures.
Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 792

KIRCHGESSNER, M. (1982):
Tierernährung, 4. Auflage.
DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

KLEIBER, M. (1967):
Der Energiehaushalt von Mensch und Haustier.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

KLEIN, H. (1984):
Auswirkungen einer Temperaturbelastung während der Dauer der ersten Laktation auf die Leistung und Thermoregulation bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte.
Diss. Techn. Univ. Berlin

KMENT, A. (1976):
Endokrinum.
in: SCHEUNERT, A. & A. TRAUTMANN: Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 6. Auflage.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

KOLB, E. (1980):
Lehrbuch der Physiologie der Haustiere, 2. Auflage.
VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

LEHNINGER, A.L. (1977):
Biochemie, 2. Auflage.
Verlag Chemie, Weinheim und New York

LYHS, L. (1971):
Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere.
VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

McDOWELL, R.E.; D.H.K. LEE; M.H. FOHRMAN & R.S. ANDERSON (1953):
Respiratory activities as an index of heat tolerance in Jersey and Sindhi x Jersey (F_1) crossbred cows.
J. Anim. Sci 12, 573

McLEAN, J.A. (1963):
The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions.
J. of Physiology 167, 427

McLEAN, J.A. (1972):
On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements.
Br. J. Nutr. 27, 597

McLEAN, J.A. & D.T. CALVERT (1972):
Influence of air humidity on the partition of heat exchanges of cattle.
J. agric. Sci., Camb. 78, 303

MENKE, K.H. (1981):
Programmbibliothek Tierernährung.
Texas Instruments GmbH, Freising

MIESCHKE, B. (1977):
Einfluß einer Temperaturbelastung auf die Leistung laktierender Kühe.
Diss. Techn. Univ. Berlin

MOLCHANOV, I.V. (1974):
Gazoobmen u stel'nykh i nestel'nykh telok (Gaseous exchange in pregnant and nonpregnant heifers).
Vestnik Sel'skokhozyaistvennoi Nauki 2, 68

MOREAU, D. (1981):
Einflüsse hoher alternierender Umgebungstemperatur bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit auf die Leistung laktierender Kühe der Rasse Deutsche Schwarzbunte im Klimakammerversuch.
Diss. Freie Univ. Berlin

MOUNT, L. (1968):
The climatic physiology of the pig.
Edward Arnold Publishers Ltd., London

NICHELMANN, M. & A. LYHS (1973):
Physiologische Mechanismen der Temperaturregulation bei landwirtschaftlichen Nutztieren.
Arch. Tierzucht 16, 285

NICHELMANN, M.; E. THOMAS & L. LYHS (1974):
Beziehungen zwischen Umgebungstemperatur und Energieumsatz.
Mh. vet. med. 29, 656

NICHELMANN, M.; A. KEMPER & L. LYHS (1975):
Synergismus und Antagonismus stoffwechselaktiver Hormone.
Mh. Vet. med. 30, 310

OSUJI, P.O. (1973):
Ruminant energy metabolism: an analysis of the heat increment of feeding in sheep.
Thesis, Univ. of Aberdeen, UK

PASCHKE, H. (1982):
Untersuchungen über den Einfluß einer Temperaturbelastung auf die Leistung und auf ausgewählte Parameter der Thermoregulation bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte in der ersten Lakation.
Diss. Freie Univ. Berlin

PLESCHKA, K. (1971):
Interaction of CO_2 and thermal stimuli in panting.
J. de Physiol. 63, 383

PRECHT, H.; J. CHRISTOPHERSEN; H. HENSEL & W. LARCHER (1973):
Temperature and life.
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York

PROSSER, C.L. (1964):
Perspectives of adaptation: theoretical aspects.
2. Handbook of Physiology Chap. 2, Adaptation to the Environment, Amer. Physiological Society

RAFAI, P. & Z. PAPP (1974):
A baranyok anyagcsere jenek posztnatalis valtozasa (Postnatal changes in metabolism of lambs).
Magyar Allatorvosok Lapja 29, 855

RIBEIRO, J.M. (1976):
Energy cost of walking in young cattle.
Thesis, Aberdeen Univ., UK

ROBERSON, A. (1960):
The effect of environmental temperature on the energy metabolism of cattle.
J. Agric. Sci. 55, 359

RUIZ, A.V. (1973):
Ventilatory response of the panting dog to hypoxia.
Pflügers Arch. 340, 89

RUMSEY, T.S.; H.F. TYRELL & P.W. MOE (1980):
Effects of diethylstilbestrol and synovex-s on fasting metabolism measurements of beef steers.
J. of Anim. Sci. 50, 160

SCHOLANDER, P.F.; R. HOCK; V. WALTERS, F. JOHNSON & L. IRVING (1950):
Heat regulation in some arctic and tropical birds.
Biol. Bull. 99, 237

SEIF, S.M.; H.D. JOHNSON & L. HAHN (1972):
Environmental heat and partial water restriction effects on body fluid spaces, water loss, body temperature, and metabolism of Holsein cows.
J. of Anim. Sci. 56, 581

SELYE, H. (1956):
The stress of life.
Longmans, Green & Co. Inc., New York

SEMBRAT, R.; J. DISTAZIO; W. MALEY & J. STREMPLE (1981):
Oxygen consumption changes in the septic pony.
Amer. J. of Vet. Res. 42, 1944

SHUKLA, D.C.; M.V.N. RAO & D.P. SADHU (1972):
Energy metabolism in Haryana calves. Effect of age and climate upon the oxygen consumption in Haryana calves.
Ind. J. of Anim. Res. 6, 31

SPÖRRI, H. (1976):
Atmung.
in: SCHEUNERT, A. & A. TRAUTMANN: Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 6. Auflage.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

TAYLOR, C.R. (1969):
Metabolism, respiratory changes, and water balance of an antelope, the eland.
Amer. J. of Physiol. 217, 317

TAYLOR, C.R.; R. DMI'EL; A. SHKOLNIK; D. BAHARAV & A. BORUT (1974):
Heat balance of running gazelles: strategies for conserving water in the desert.
Amer. J. of Physiol. 226, 439

TER MEULEN, U.; S. MOLNAR & K.D. GÜNTHER (1975):
Untersuchungen zur Morphologie und Physiologie des perirenalen Fettgewebes beim Kalb und der Einfluß der Umgebungstemperatur auf seine Funktion.
Z. Tierphysiol., Tierernhrg. u. Futtermittelkde. 35, 228

TER MEULEN, U.; H. DUCHANOWA; H. KAHLES; H. NORDBECK; C.J. PREUSSE & S. MOLNAR (1976):
Untersuchungen zur zitterfreien Wärmebildung beim neugeborenen Kalb unter Kältebelastung.
Z. Tierphysiol., Tierernahrg. u. Futtermittelkde. 36, 283

THIELE, P. & C. ALBERS (1963):
Die Wasserdampfabgabe durch die Atemwege und der Wirkungsgrad des Wärmehechelns beim wachen Hund.
Pflügers Arch. 278, 316

THIELE, P. & C. ALBERS (1963):
Bestimmung der Wasserdampfabgabe durch die Atemwege und des Sauerstoffverbrauchs beim wachen, hechelnden Hund.
Pflügers Arch. 278, 326

THOMPSON, G.E.; J.W. GARDNER & A.W. BELL (1975):
The oxygen consumption, fatty acid and glycerol uptake of the liver in fed and fasted sheep during cold exposure.
Quart. J. of Exp. Physiol. 60, 107

THOMPSON, G.E. & D.P. GLOUCH (1972):
The effect of cold exposure on plasma lipids of the new-born and adult ox.
Quart. J. of Exp. Physiol. 57, 192

THOMPSON, G.E.; P.E. HARTMANN; J.A. GOODE & K.S. LINDSAY (1981):
Some effects of acute fasting and climatic stresses upon milk secretion in Friesland sheep.
Comp. Biochem. Physiol. 70A, 13

THOMPSON, G.E.; W. MANSON; P.L. CLARKE & A.W. BELL (1978):
Acute cold exposure and the metabolism of glucose and some of its precursors in the liver of the fed and fasted sheep.
Quart. J. of Exp. Physiol. 63, 189

THOMPSON, G.E. & E.M. THOMPSON (1972):
Effect of cold exposure on mammary circulation, oxygen consumption and mild secretion in the goat.
J. Physiol. 272, 187

TYRELL, H.F. & J.T. REID (1965):
Prediction of the energy value of cow's milk.
J. Dairy Science 1215, 48

VERCOE, J.E. & J.C. O'KELLY (1972):
The fasting metabolism of Africander and British crossbred cattle and the effect of previous infestation with cattle tick (Boophilus microplus Canestrini).
Proc. of the Aust. Soc. of Anim. Prod. 9, 356

VERCOE, J.E. (1973):
The energy cost of standing and lying in adult cattle.
Br. J. Nutr. 30, 207

WAINMAN, F.W.; K.L. BLAXTER & J.S. SMITH (1972):
The utilization of the energy of artificially dried grass prepared in different ways.
J. of Agric. Sci. 78, 441

WEBSTER, A.J.F. (1967):
Continuous measurement of heart rate as an indicator of the energy expenditure of sheep.
Br. J. Nutr. 21, 769

WEBSTER, A.J.F. & F. WHITE (1973):
Portal blood flow and heat production in the digestive tract of sheep.
Br. J. Nutr. 29, 279

WEBSTER, A.J.F.; P.O. OSUJI; F.WHITE & J.F. INGRAM (1975):
The influence of food intake on portal blood flow and heat production in the digestive tract of sheep.
Br. J. Nutr. 34, 125

WHITTOW, G.C. & J.D. FINDLAY (1968):
Oxygen cost of thermal panting.
Amer. J. of Physiol. 214, 94

WHITTOW, G.C. (1971):
Comparative physiology of thermoregulation.
Vol. II, Mammals.
Academic Press, New York und London

WITTKE, G. (1967a):
Atemgaswechsel der Säugetiere und der Vögel.
Fortschritte der Zoologie 18, 279

WITTKE, G. (1967b):
Wärmehaushalt der Säugetiere und der Vögel.
Fortschritte der Zoologie 18, 301

WITTKE, G. (1972):
Physiologie der Haustiere.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

YAMAMOTO, S.; J.A. McLEAN & A.J. DOWNIE (1979):
Estimation of heat production from heart-rate measurements in cattle.
Br. J. Nutr. 42, 507

YECK, R.G. & R.E. STEWART (1959):
A ten year summary of the Psychoenergetic Laboratory dairy cattle research at the University of Missouri.
Trans Am. soc. agric. Engrs. gen. Edn. 2, 71

YOUSEF, M.K.; H.H. KIBLER & H.D. JOHNSON (1967):
Thyroid activity and heat production in cattle following sudden ambient temperature changes.
J. Anim. Sci. 26, 142

YOUSEF, M.K. & H.D. JOHNSON (1967):
Calorigenesis of cattle as influenced by hydrocortisone and environmental temperature.
J. Anim. Sci. 26, 1087

YOUSEF, M.K.; W.D. ROBERTSON; H.D. JOHNSON & L. HAHN (1968):
Effect of ruminal heating on thyroid function and heat production of cattle.
J. Anim. Sci. 27, 677

ZEUTHEN, E. (1953):
Oxygen uptake as related to body size in organisms.
The Quart. Rev. of Biology 28, 1

Folgenden Personen danke ich für ihre Unterstützung bei der Erstellung der vorliegenden Dissertation:

- Herrn Prof. Dr. J.H. Weniger und Herrn Prof. Dr. D. Steinhauf für die Überlassung des Themas, die Hilfe bei der Versuchsdurchführung und -auswertung sowie ihre stete Diskussionsbereitschaft bei der Abfassung des Manuskriptes

- Herrn Prof. Dr. G. Wittke für die wertvollen Anregungen zur Fertigstellung der Arbeit

- Herrn Dr. Chr. Hünicken für die Einführung in die elektronische Datenverarbeitung

- Herrn Dr. H. Klein für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten

- Frau U. Poggendorf und Frau J. Tulke für die Analyse der Milch- und Futterproben

- Herrn Melkermeister G. Strietzel und Herrn I. Gümüsok für die Betreuung der Versuchstiere

sowie allen Mitgliedern und Freunden des Institutes für Tierproduktion für die freundliche Zusammenarbeit.

LEBENSLAUF

Bernhard O. Sörensen

11.12.1955	geboren in New York als Sohn des Landwirtes Christian Sörensen und seiner Ehefrau Florence, geb. Riewerts
1959	Übersiedlung in die Bundesrepublik Deutschland
1962 - 1967	Volksschule Westerland-Föhr
1967 - 1971	Realschule Wyk/Föhr Abschluß Mittlere Reife
1971 - 1974	Fachgymnasium Niebüll Abschluß Abitur
1974 - 1979	Studium der Veterinärmedizin an der Justus Liebig Universität Gießen Abschluß Staatsexamen
1980 - 1981	Anstellung als Assistent in einer Groß- und Kleintierpraxis in Moers
1982 - 1984	Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Tierproduktion der TU Berlin
seit 1984	Anstellung als Tierarzt in einer Kleintierpraxis in Berlin

Papyrus-Druck GmbH Berlin ☎ 3416451
Dissertationen